

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теоретическая и промышленная теплотехника

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Термическая подготовка и зажигание частиц водоугольного топлива, покрытых водяной пленкой

УДК 662.66-032.2:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Афанасьева Виктория Георгиевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	С.В. Сыродой	к.т.н., ст. преподаватель		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально- гуманитарных наук	Н.Г. Кузьмина			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	А.М. Антонова	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата, указанными в ФГОС ВПО по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Универсальные компетенции</i>
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как

	средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами на основе АСУТП; использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
	<i>Специальные профессиональные</i>
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Техническая и промышленная теплотехника

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель профиля
Е.Е. Бульба

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4Б	Афанасьевой Виктории Георгиевне

Тема работы:

Термическая подготовка и зажигание частиц водоугольного топлива, покрытых водяной пленкой	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

10 июня 2018 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объект исследования – частицы водоугольного топлива, покрытые приповерхностной водяной пленкой.

Предмет исследования – интегральные характеристики процессов испарения приповерхностной водяной пленки и зажигания частиц.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературы, научных исследований по теме; 2. Разработка математической модели на основе принятой физической постановки; 3. Верификация программы; 4. Проведение вычислительных экспериментов; 5. Анализ полученных результатов; 6. Заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Н.Г. Кузьмина, старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>М.В. Василевский, доцент Отделения контроля и диагностики</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>10 декабря 2017 года</p>
--	------------------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	С.В. Сыродой	к.т.н.		10.12.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Афанасьева Виктория Георгиевна		10.12.18

Реферат

Выпускная квалификационная работа 81 страница, 18 рисунков, 6 таблиц, 46 источников.

Ключевые слова: водоугольное топливо, тепломассоперенос, зажигание, испарение, тепломассоперенос, излучение, математическое моделирование.

Объект исследования – водоугольная частица, покрытая приповерхностной водяной пленкой.

Цель работы – математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса, предшествующих зажиганию водоугольных частиц, покрытых водяной пленкой.

В результате исследования получены зависимости задержки зажигания от температуры топочного пространства котельных агрегатов при различных характеристиках угля, используемого для приготовления ВУТ, и различных размерах частиц и толщине водяной пленки.

Степень внедрения: результаты внедрены в учебный процесс.

Область применения: топочные устройства котельных агрегатов.

Обозначения и сокращения

Принятые сокращения:

ВУТ – водоугольное топливо;

ТЭС – тепловая электрическая станция;

ОФ – обогатительная фабрика.

Принятые обозначения:

t – время, с;

T – температура, К;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К);

c – теплоемкость, Дж/(кг · К);

ρ – плотность, кг/м³;

r – радиус, м;

φ – азимутальный угол, рад;

x – объемная доля угля в частице ВУТ;

μ – молярная масса водяного пара, кг/моль;

W – массовая скорость, кг/(м² · с);

η – коэффициент выгорания;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К);

Q – тепловой эффект химической реакции, Дж/кг;

k – предэкспонент химической реакции, 1/с;

E – энергия активации химической реакции, Дж/моль;

D – коэффициент бинарной диффузии, м²/с;

σ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт · м⁻² · К⁻⁴;

a_R – коэффициент поглощения для воды (среднее значение по Росселанду), 1/м;

V – выход летучих веществ;

Подстрочные индексы:

e – окружающая среда;

$ч$ – угольная частица;

В — водяная пленка;

Г — газовая среда;

возд — воздух;

исп — испарение;

терм — термическое разложение.

Оглавление

Введение	11
1 Обзор литературы.....	18
1.1 Обзор экспериментальных исследований зажигания частиц ВУТ.....	18
1.2 Обзор теоретических исследований зажигания частиц ВУТ.....	20
2 Постановка задачи.....	22
2.1 Физическая постановка.....	22
2.2 Математическая постановка	24
2.3 Решение тестовых задач	27
3 Результаты математического моделирования	33
3.1 Влияние размеров частиц водоугольного топлива на зажигание.....	35
3.2 Влияние толщины пленки, которой покрыты частицы водоугольного топлива, на зажигание.....	2237
3.3 Влияние состава ВУТ на зажигание.....	39
4 Социальная ответственность	47
Введение	47
4.1 Производственная безопасность	49
4.1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований	49
4.1.1.1 Электромагнитное поле.....	49
4.1.1.2 Освещение.....	53
4.1.1.3 Микроклимат, содержание аэроионов и вредных химических веществ в воздухе.....	54
4.1.1.4 Шум.....	55
4.1.1.5 Перегрузки	56

4.1.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.	56
4.1.2.1 Электрический ток	56
4.1.2.2 Пожар	58
4.2 Экологическая безопасность	59
4.2.1 Защита селитебной зоны	59
4.2.2 Защита литосферы.....	60
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	60
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	62
4.4.1 Правовые нормы трудового законодательства	62
4.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	62
Заключение	65
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	67
5.1 Планирование работ и временная оценка их выполнения	67
5.2 Смета затрат на проект	70
5.2.1 Материальные затраты.....	70
5.2.2 Амортизация компьютерной техники	70
5.2.3 Затраты на заработную плату	70
5.2.4 Затраты на социальные нужды	72
5.2.5 Прочие затраты.....	72
5.2.6 Накладные расходы.....	72
Заключение	74
Список использованной литературы.....	76

Введение

На сегодняшний день проблема изменения климата стоит особенно остро. Главной причиной глобального потепления считается рост концентрации углекислого газа в атмосфере Земли, вызывающий парниковый эффект (рис. 1, 2). Для предотвращения процессов изменения климата был заключен Киотский протокол, обязывающий развитые страны и страны с переходной экономикой контролировать количество выбросов парниковых газов.

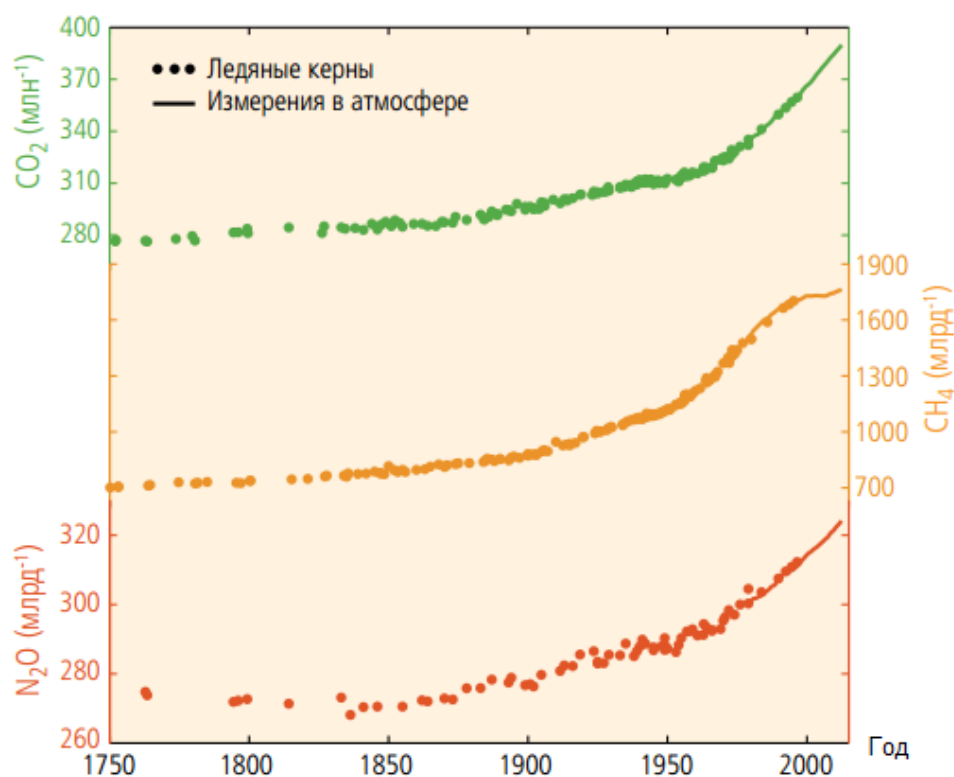


Рисунок 1 – Наблюдаемые изменения концентраций парниковых газов в атмосфере [1]

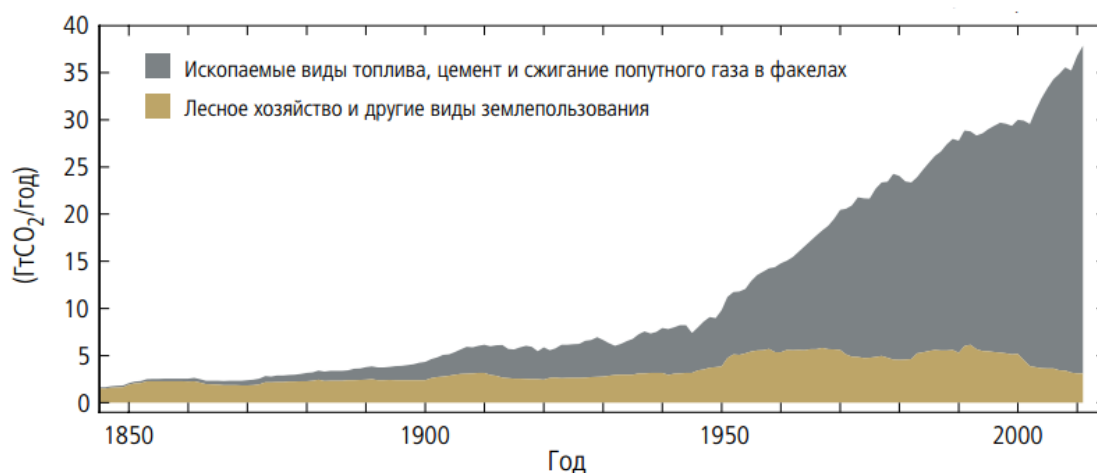


Рисунок 2 – Ежегодные глобальные выбросы антропогенного диоксида углерода (CO_2) (гигатонны CO_2 -эквивалента в год, $\text{ГтCO}_2/\text{год}$) от сжигания ископаемого топлива, производства цемента и сжигания попутного газа в факелах и от лесного хозяйства и других видов землепользования в период 1750-2011 гг. [1]

В России около 70% образования диоксида углерода вызвано сжиганием ископаемого топлива на объектах теплоэнергетики, поэтому значительная часть мероприятий должна быть направлена на развитие экологически чистой энергетики. Одним из последних событий, подтверждающих приверженность России экологически безопасному развитию, стало подписание 22 апреля 2016 г. Парижского соглашения по климату, которое обязывает провести комплекс мероприятий по технологическому перевооружению и адаптации к климатическим изменениям, сократив к 2020 г. объем выбросов парниковых газов.

Переход на альтернативные источники позволил бы резко сократить парниковые выбросы. В России необходимость использования альтернативной энергетики прописана в Энергетической стратегии [2], Основах государственной политики в области экологического развития РФ [3], Климатической доктрине [4]. На деле же развитию альтернативной энергетики в нашей стране препятствуют многие факторы: обеспеченность России собственными первичными энергетическими ресурсами, несовершенство экономического механизма мотивации использования

экологически чистых технологий, недостаточный уровень развития технологий использования возобновляемых источников. [5]

Более реальным вариантом решения проблемы выбросов является разработка новых технологий, позволяющих сделать использование традиционных источников более безопасным и эффективным. В структуре теплового баланса экономики развитых стран лидирующее положение начинает занимать уголь, что объясняется его большими запасами и истощением месторождений нефти и газа. Добыча угля в России в период с 2008 года увеличилась более чем на 14 %. Однако при его сжигании наблюдается самый высокий уровень выбросов (рис. 3), поэтому для минимизации отрицательного воздействия на окружающую среду в первую очередь необходимо развивать экологически чистые угольные технологии.

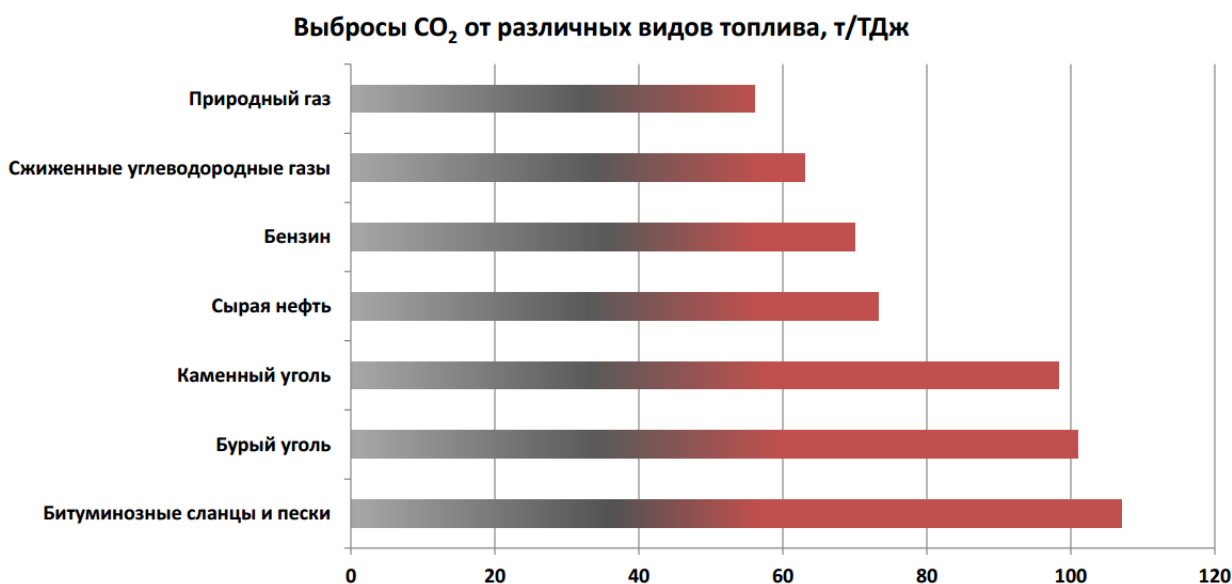


Рисунок 3 – Выбросы CO₂ от различных видов топлива, т/ТДж [1]

Одним из таких технологических решений, обеспечивающих безопасность и эффективность использования угля, является технология его сжигания в виде водоугольного топлива (ВУТ) [6]. ВУТ экологически более чистое топливо, чем уголь и мазут, по минимуму отрицательного воздействия на окружающую среду продукты сгорания уступающее лишь природному газовому топливу. [7-10]

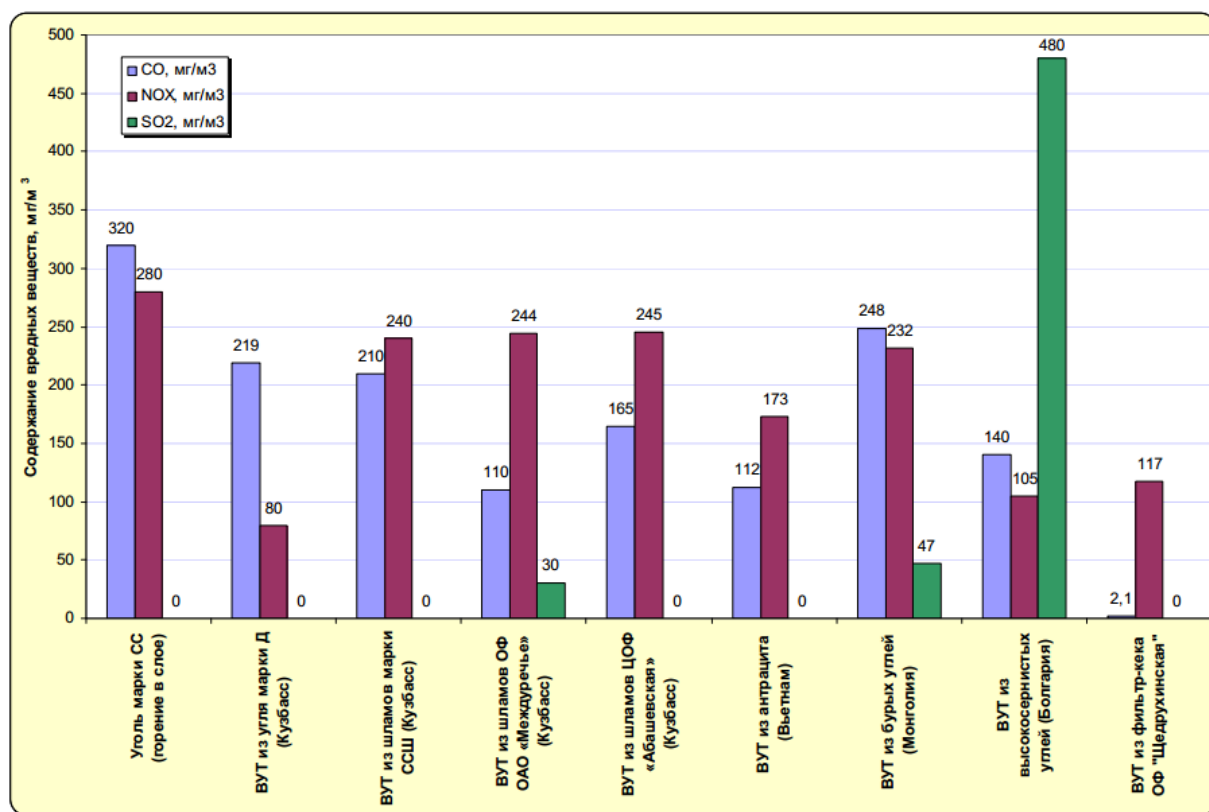


Рисунок 4 – Содержание и изменение вредных веществ в дымовых газах при сжигании ВУТ [11]

Водоугольная суспензия (ВУС) – смесь угольной пыли и воды с добавками поверхностно-активных веществ или без таковых, обладающая текучими свойствами, способная к перемещению с помощью насосов по трубопроводам, распылению в топках на капли и горению с образованием факела, что делает ее похожей на мазут, дизельное топливо и другие топливные жидкости. В процессе производства ВУТ могут использоваться любые марки угля и даже угольные шламы, при этом к качеству добавляемой воды нет никаких требований: могут быть использованы как сточные воды, так и загрязненная нефтепродуктами вода. Температура воспламенения ВУТ составляет 450-650°C, температура горения – 950-1050°C, а степень выгорания топлива – до 99,5%. Такие благоприятные для горения условия способствуют существенному снижению в продуктах сгорания окислов азота (в 1,5-2 раза), окиси углерода (в 2 раза) и бенз(а)пирена (в 5 раз). [12]

Преимущества использования ВУТ на пылеугольных ТЭС также связаны с упрощением технологии приема, хранения, подачи топлива на

котлы. Это топливо транспортируется в авто- и железнодорожных цистернах, по трубопроводам, в танкерах и наливных судах. Оно хранится в закрытых резервуарах, и для его хранения требуется нагрев ёмкостей только до температуры 7-10°C, в то время как для мазута – около 70°C. [7]

Систематические исследования водоугольного топлива (ВУТ) начались в 50-е годы прошлого столетия. На начальном этапе исследование ВУТ было вызвано обострением проблемы утилизации тонких угольных шламов, возникающих в больших количествах при гидравлической добычи и гидротранспорта угля и при обогащении углей мокрым способом. Впоследствии развитие работ по ВУТ было обусловлено нефтяным кризисом 70-х годов: крупные потребители энергетического топлива искали способ ограничить свою зависимость от поставщиков нефти.

В настоящее время наибольший размах получили работы по ВУТ в Китае и Японии. В мегаполисах Китая уже запрещены строительство и эксплуатация котельных, работающих на твердом угле, а Государственной программой Правительства Китая предусмотрен поэтапный перевод предприятий с нефтегазового на водоугольное топливо. Сегодня тематикой ВУТ в Китае занимаются три исследовательских центра, создан Государственный центр водоугольных технологий. Если в 2001 г. в Китае ежегодно производилось и потреблялось более 2 млн тонн ВУТ, то в 2006 г. – уже около 15 млн тонн, что равноценно производству 10...12 гигаватт электрической энергии. К 2020 г. производство ВУТ в Китае планируется довести до рекордной цифры – 100 млн тонн в год [13].

В России первые исследования по проблеме ВУТ были выполнены в 50-х годах прошлого века, но в дальнейшем они были практически прекращены в связи с открытием богатых месторождений природного газа в различных регионах страны. Интерес к тематике ВУТ вновь появился в 70-х годах прошлого века после визита советской правительственной делегации в Италию, где проводились активные работы по тематике водоугольного топлива. В то время водоугольное топливо рассматривалось как реальная и легкодоступная замена нефтепродуктам. После визита делегации были развернуты широкие

научные исследования, которые проводились в Институте горючих ископаемых Академии наук СССР, во ВНИИгидроуголь и КузНИИУглеобогащения.

Таким образом, в 1980-х было проведено опытно-промышленное сжигание ВУТ на котлах ПК-40 Беловской ГРЭС и ТП-35 Мин-Кушской ТЭЦ. Опытные испытания показали, что суспензионное сжигание характеризуется более поздним воспламенительным процессом по сравнению с пылеугольным, что приводит к затягиванию выгорания угольных частиц ВУТ, повышению температуры продуктов сгорания на выходе из топki и за котлом, совокупному увеличению потерь теплоты с уходящими газами и мехнедожогом топлива. По результатам испытаний был принят проект котла ТПЕ-214 Новосибирской ТЭЦ-5, предусматривающий работу как на угольной пыли, так и на ВУТ, однако дальнейшим опытным исследованиям горения ВУТ помешало его расслоение в трубопроводах и хранилищах. [14] Тем не менее, данный опыт подтвердил оптимистические надежды на возможность использования водоугольного топлива в теплоэнергетике России.

На сегодняшний день разработки по повышению стабильности ВУТ шагнули далеко вперед. ВУТ нового поколения характеризуются устойчивостью и транспортабельностью, что делает возобновление исследований ВУТ обоснованным. Масштабному промышленному внедрению этого топлива препятствует недостаточная изученность технических проблем, связанных с улучшением эффективности топочных процессов его сжигания. Проведение опытно-промышленных испытаний в котельных агрегатах требует теоретических исследований закономерностей воспламенения и горения ВУТ, необходимых для решения вопросов организации суспензионного сжигания. К методам теоретических исследований относится компьютерное моделирование. Вычислительные эксперименты имеют ряд преимуществ над натурными, в первую очередь к ним относятся дешевизна и безопасность проведения. Математическое моделирование – современный инструмент исследования процессов горения и зажигания, и развитие

существующих моделей этих процессов способствует улучшению прогнозируемости исследуемых явлений.

Таким образом, цель данной работы – математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса при воспламенении частиц, покрытых водяной пленкой, с учетом поглощения теплового излучения последней.

1 Обзор литературы

1.1 Обзор экспериментальных исследований зажигания частиц ВУТ

На сегодняшний момент существует большое количество работ, посвященных экспериментальным исследованиям процессов, сопутствующих термической подготовке, и непосредственно горения частиц ВУТ.

Было экспериментально установлено [15-17], что зажиганию капли ВУТ предшествует несколько стадий: испарение влаги, термическое разложение угля, горение летучих, зажигание коксового остатка.

В работах [18-19] процессы зажигания и горения частиц ВУТ исследуются на примере свободно падающих одиночных капель через цилиндрический канал в высокотемпературном потоке воздуха. В [19] установлено, что задержка зажигания имеет большое значение при горении ВУТ. Таким образом, при размере агломератов 250 мкм и концентрации твердой части в ВУТ 40 % времени задержки зажигания составляли почти 25 % от времени существования агломератов в потоке воздуха при температуре 1450 К.

В работе [17] по зажиганию одиночных капель ВУТ, закрепленных на спаяе термопары, показано, что температура капли в процессе ее нагрева меняется одинаковым образом, независимо от состава ВУТ. Также в этой работе было исследовано влияние размера капель ВУТ на характеристики их зажигания: была выявлена практически линейная зависимость между диаметром капли и временем ее горения. При этом установлено, что пленка воды оказывает существенное влияние на характеристики и условия зажигания частицы водоугольного топлива и ее испарение может занимать до 60% от всего индукционного периода.

В работах [20-21] экспериментально исследовано влияние содержания водной фазы в ВУТ на характеристики зажигания капель топлива. Эксперименты проводились в термоэлектрической печи [21] и с

использованием газовой горелки [20]. Установлено [21], что при повышении температуры от 1070 К до 1110 К задержка зажигания капель ВУТ диаметром 1,15 мм изменялась на 21% при содержании воды в топливе, равном 35%, и на 34% – при 47%. Также показано, что увеличение содержания летучих веществ от 20 % до 35 % ведет к уменьшению задержки зажигания на 22 %. Таким образом, в этих работах показано, что содержание воды в ВУТ с учетом исходной влажности угля и доля летучих газов имеют существенное влияние на протекание процессов зажигания и горения топлива.

К работам, результаты которых можно использовать при моделировании зажигания топлива в топках котельных агрегатов, относятся [22-25], где зажигание частиц ВУТ было проведено в высокотемпературном окислителе.

1.2 Обзор теоретических исследований зажигания частиц ВУТ

Математическое моделирование имеет научный и практический интерес для исследования процессов горения. Развитие существующих моделей процессов зажигания необходимо для повышения прогнозируемости изучаемых явлений.

Процессы зажигания имеют сложную теоретическую базу, включающую и химическую физику, и механику многокомпонентных химически активных сред, поэтому математические модели всегда имеют в своей основе допущения. Иногда такое отбрасывание различных факторов может иметь существенное влияние на результаты моделирования процессов зажигания частиц ВУТ.

Например, в работе [27] приведены результаты моделирования зажигания частиц ВУТ при высокотемпературном конвективном нагреве, при этом описанная математическая постановка не учитывала тепловые источники термохимического равновесия и включала в себя одномерные уравнение теплопроводности.

В работах [28, 29] термическая подготовка частиц четко делится на такие стадии, как инертный нагрев, испарение внутрипоровой влаги, зажигание кокса. Однако здесь не учтено совместное протекание данных процессов, что может привести к ошибкам в прогнозах, основанных на результатах вычислительных экспериментов, проведенных на данных моделях.

В работах [30-34] математические модели зажигания частиц водоугольного топлива разработаны уже с учетом совместного протекания процессов термической подготовки. Упрощающее допущение в этих моделях состоит в том, что окисление продуктов пиролиза протекает в очень узкой зоне вблизи частиц. Таким образом, в моделях неучтена диффузия газообразных продуктов термического разложения, которая может влиять на процессы зажигания топлива. [35]

В работе [36] разработанная модель учитывает значимые процессы термической подготовки (радиационно-конвективный нагрев, испарение влаги, термическое разложение органической части топлива, выход летучих, газофазное воспламенение продуктов пиролиза). Но здесь не учтено, что испарение воды начинается при температуре выше точки тройного состояния.

При распылении ВУТ в пространстве котельного агрегата возможно формирование двух классов капель ВУТ: первый класс включает в себя частично подсушенные частицы ВУТ, второй – более обводненные капли с наличием приповерхностной водяной пленки. [37] Характеристики воспламенения последнего класса в настоящее время являются недостаточно изученными, однако очевидно, что наличие водяной пленки может существенно повлиять на воспламенение частиц ВУТ ввиду высоких значений эндотермического эффекта испарения и теплоемкости воды. На данный момент разработано мало моделей, изучающих закономерности воспламенения таких частиц. В работе [38] установлено, что пленка воды оказывает существенное влияние на характеристики и условия зажигания частицы ВУТ и ее испарение может занимать до 10% от всего индукционного периода в диапазоне температур (от 1000 К до 1500 К).

2 Постановка задачи

2.1 Физическая постановка

Частица ВУТ имеет многогранную форму, которая зависит от многих факторов и может меняться случайным образом, поэтому в качестве упрощения рассматривалась частица в форме сферы. [40]

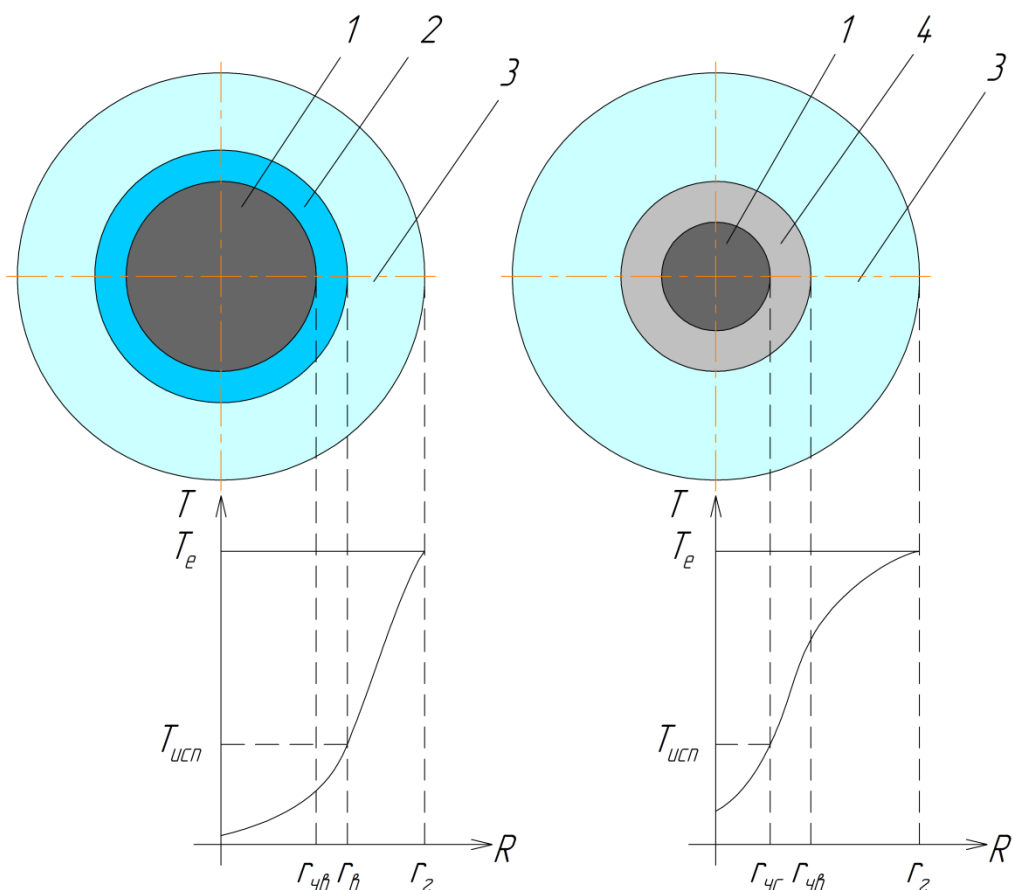
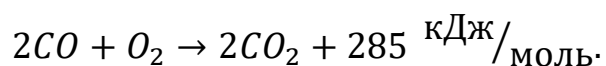
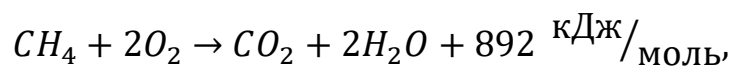
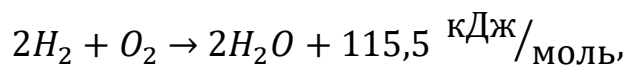


Рисунок 5 – Схема области решения задачи: 1 – влагонасыщенная область частицы ВУТ; 2 – водяная пленка; 3 – газовая область; 4 – обезвоженная область частицы ВУТ

В начальный момент времени частица ВУТ попадает в газовую среду, температура которой значительно превышает температуру частицы. Последняя воспринимает тепло газовой среды посредством конвекции и излучения, в результате начинается испарение пленки воды. Принято, что тепловое излучение поглощается только водяной пленкой. [39]

За испарением водяной пленки следует дальнейший прогрев основного слоя топлива, сопровождаемого испарением внутрислойной влаги

ВУТ и термическим разложением органической части топлива. Принимается, что разложение сопровождается выходом газообразных продуктов пиролиза, которые включают в себя горючие (CO, CH₄, H₂) и негорючий (CO₂) компоненты. Таким образом, горение летучих веществ включает в себя следующие реакции:



2.2 Математическая постановка

Математическая постановка задачи, описывающая принятую физическую модель, состоит из нижеприведенных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных и краевых условий.

После испарения приповерхностной водяной пленки частицу ВУТ можно условно разделить на две части (рис. 5). Первая представляет собой исходную зону частицы, насыщенную влагой, вторая – обезвоженную зону.

Распределение температуры в частице ВУТ рассчитывалось из уравнения энергии, учитывающее испарение воды и термическое разложение ($t > 0, 0 < r < r_{\text{ч}}, 0 < \varphi < \pi$):

$$c_{\text{ч}}(T)\rho_{\text{ч}}(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\lambda_{\text{ч}}(T)\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin\varphi}\frac{\partial}{\partial\varphi}\left(\sin\varphi\lambda_{\text{ч}}(T)\frac{\partial T}{\partial\varphi}\right) - q_{\text{терм}}W_{\text{терм}} - Q_{\text{исп}}W_{\text{исп}} \quad (1)$$

Теплофизические характеристики частицы ($c_{\text{ч}}, \rho_{\text{ч}}, \lambda_{\text{ч}}$) определялись из положения фронта испарения и рассчитывались с учетом объемных долей компонентов, входящих в нее. Таким образом, эти характеристики для первой зоны частицы рассчитываются по следующим уравнениям:

$$\lambda_{\text{ч}} = x\lambda_{\text{г}} + (1-x)\lambda_{\text{в}},$$

$$c_{\text{ч}} = xc_{\text{г}} + (1-x)c_{\text{в}},$$

$$\rho_{\text{чв}} = x\rho_{\text{г}} + (1-x)\rho_{\text{в}}.$$

Для второй зоны частицы:

$$\lambda_{\text{ч}} = x\lambda_{\text{г}} + (1-x)\lambda_{\text{возд}},$$

$$c_{\text{ч}} = xc_{\text{г}} + (1-x)c_{\text{возд}},$$

$$\rho_{\text{ч}} = x\rho_{\text{г}} + (1-x)\rho_{\text{возд}}.$$

На границе между частицей ВУТ и водяной пленкой выполняются условия 4 рода:

$$r = r_{\text{ч}}, 0 < \varphi < \pi, t > 0: \begin{cases} \lambda_{\text{ч}}(T)\frac{\partial T_{\text{ч}}}{\partial r} = \lambda_{\Sigma}\frac{\partial T_{\text{в}}}{\partial r} \\ T_{\text{ч}} = T_{\text{в}} \end{cases} \quad (2)$$

Распределение температур для водяной пленки описывается следующим уравнением, учитывающее поглощение теплового излучения высокотемпературной газовой среды ($t > 0, r_q < r < r_b, 0 < \varphi < \pi$):

$$c_b \rho_b \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda_\Sigma \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\sin \varphi \lambda_\Sigma \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right). \quad (3)$$

Поглощение теплового излучения водяной пленкой принято в соответствии с моделью радиационной теплопроводности Росселанда [41]:

$$\lambda_\Sigma = \lambda_b + \frac{16\sigma T^3}{3a_R}.$$

На границе раздела водяной пленки и газовой среды выполняется граничное условие 4-го рода с учетом испарения воды:

$$r = r_b, 0 < \varphi < \pi, t > 0: \begin{cases} \lambda_\Sigma \frac{\partial T_b}{\partial r} = \lambda_\Gamma \frac{\partial T_\Gamma}{\partial r} - Q_{\text{исп}} W_{\text{исп}}, \\ T_b = T_\Gamma \end{cases}. \quad (4)$$

Скорость испарения воды в уравнении (1) и (4) вычислялась как [42]:

$$W_{\text{исп}} = W_0 \cdot \exp \left[\frac{Q_{\text{исп}} \mu (T_b - T_3)}{RT_b T_3} \right],$$

где T_3 – температура жидкости, соответствующая точке замерзания, К; W_0 – скорость испарения при температуре T_3 , кг/(м² · с).

Процесс термического разложения органической части топлива описывается уравнением химической кинетики:

$$\begin{cases} \frac{\partial \eta}{\partial t} = (1 - \eta) k_{\text{терм}} \exp \left(\frac{-E_{\text{терм}}}{RT} \right) \\ W_{\text{терм}} = (1 - \eta) \cdot k_{\text{терм}} \cdot \rho(T) \cdot \exp \left(\frac{-E_{\text{терм}}}{RT} \right) \end{cases}.$$

Уравнение энергии для газовой области, учитывающее экзотермический эффект термохимической реакции окисления газообразных продуктов пиролиза ($t > 0, r_q < r < r_\Gamma, 0 < \varphi < \pi$):

$$c_\Gamma \rho_\Gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda_\Gamma \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\sin \varphi \lambda_\Gamma \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + Q_i W_i. \quad (5)$$

Скорость реакции горения летучих веществ в уравнении (5) вычислялась по закону Аррениуса:

$$W_i = k_i C_i \left(1 - \sum_{i=1}^4 C_i \right) \rho_\Gamma \cdot \exp \left(\frac{-E_i}{RT} \right).$$

На границе газовой среды выполняются мягкие граничные условия:

$$r = r_{\Gamma}, 0 < \varphi < \pi, t > 0: \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = 0.$$

Зависимость концентрации летучих веществ от пространственных координат и времени описывается уравнением диффузии ($t > 0, r_{\text{ч}} < r < r_{\Gamma}, 0 < \varphi < \pi$):

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{D_i}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial C_i}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\sin \varphi \lambda_{\Gamma} \frac{\partial C_i}{\partial \varphi} \right) \right]. \quad (6)$$

Уравнения (1 - 6) решались при следующих граничных условиях:

$$\varphi = 0, 0 < r < r_{\Gamma}, t > 0: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0,$$

$$\varphi = \pi, 0 < r < r_{\Gamma}, t > 0: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0,$$

$$r = r_{\text{ч}}, 0 < \varphi < \pi, t > 0: \begin{cases} \frac{\partial C_i}{\partial r} = -\frac{W_i}{\rho_{\Gamma} D_i} \\ W_i = V_i (1 - \eta) \rho(T) \cdot \exp \left(\frac{-E_{\text{терм}}}{RT} \right) \end{cases}$$

$$r = r_{\Gamma}, 0 < \varphi < \pi, t > 0: \frac{\partial^2 C_i}{\partial r^2} = 0,$$

$$\varphi = 0, r_{\text{ч}} < r < r_{\Gamma}, t > 0: \frac{\partial C_i}{\partial \varphi} = 0,$$

$$\varphi = \pi, r_{\text{ч}} < r < r_{\Gamma}, t > 0: \frac{\partial C_i}{\partial \varphi} = 0.$$

2.3 Решение тестовых задач

В целях верификации математической модели решены тестовые задачи.

Задача 1

Определить температурное поле в сфере из стали ($c = 460$ Дж/(кг · К), $\rho = 7800$ кг/м³, $\lambda = 46$ Вт/(м · К)) радиусом $R=0,1$ м через 10, 20, 60 с процесса нагрева. На границе $r=R$ поддерживается постоянная температура $T_e = 373$ К. Начальная температура $T_0 = 293$ К.

Математическая постановка данной задачи выглядит следующим образом.

Уравнение теплопроводности:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\sin \varphi \lambda \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right), 0 < \varphi < \pi, 0 < r < R, t > 0$$

Начальные условия:

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq \varphi \leq \pi, 0 \leq r \leq R$$

Граничные условия:

$$\varphi = 0: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, 0 \leq r \leq R, t > 0$$

$$\varphi = \pi: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, 0 \leq r \leq R, t > 0$$

$$r = 0: \frac{\partial T}{\partial r} = 0, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0$$

$$r = R: T = T_e, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0$$

Полученные результаты приведены на рис. 6.

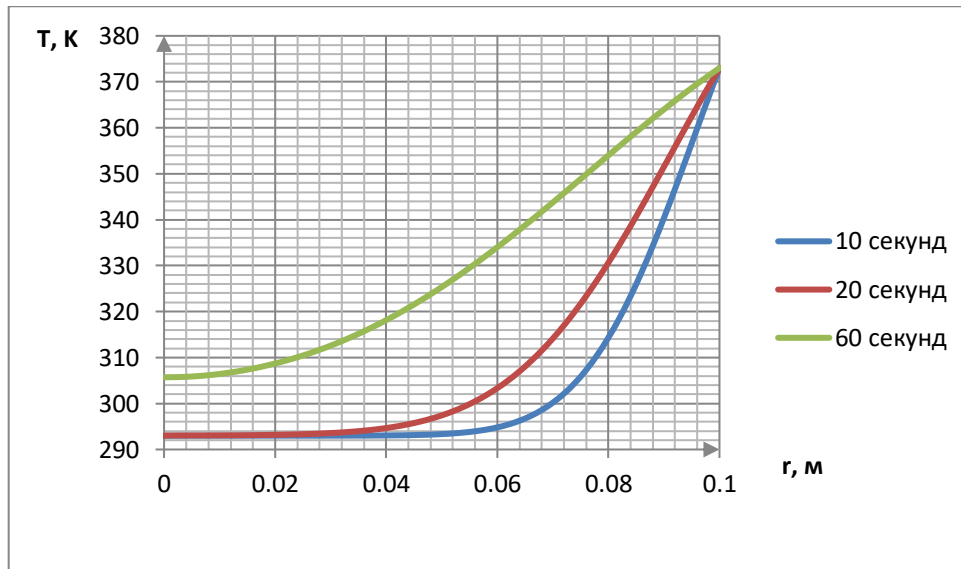


Рисунок 6 – Распределение температуры по радиусу сферы в различные моменты времени

Задача 2

Определить температурное поле в двухслойной сфере, состоящей из стали ($c_1 = 460$ Дж/(кг · К), $\rho_1 = 7800$ кг/м³, $\lambda_1 = 46$ Вт/(м · К)) и меди ($c_2 = 381$ Дж/(кг · К), $\rho_2 = 8800$ кг/м³, $\lambda_2 = 384$ Вт/(м · К)) через 30, 180, 600 с процесса нагрева. Радиус внутренней сферы $R_1=0,15$ м, радиус внешней – $R=0,3$ м. На границе $r=R$ поддерживается постоянная температура $T_e = 323$ К. Начальная температура $T_0 = 283$ К.

Математическая постановка данной задачи выглядит следующим образом.

Уравнение теплопроводности:

$$\begin{cases} c_1 \rho_1 \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\sin \varphi \lambda_1 \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right), 0 < \varphi < \pi, 0 < r < R_1, t > 0 \\ c_2 \rho_2 \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda_2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\sin \varphi \lambda_2 \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right), 0 < \varphi < \pi, R_1 < r < R, t > 0 \end{cases}$$

Начальные условия:

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq \varphi \leq \pi, 0 \leq r \leq R, t > 0$$

Граничные условия:

$$\varphi = 0: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, 0 \leq r \leq R, t > 0$$

$$\varphi = \pi: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, 0 \leq r \leq R, t > 0$$

$$r = 0: \frac{\partial T}{\partial r} = 0, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0$$

$$r = R_1: \begin{cases} \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0 \\ T_1 = T_2 \end{cases}$$

$$r = R: T = T_e, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0$$

Полученные результаты приведены на рис. 7.

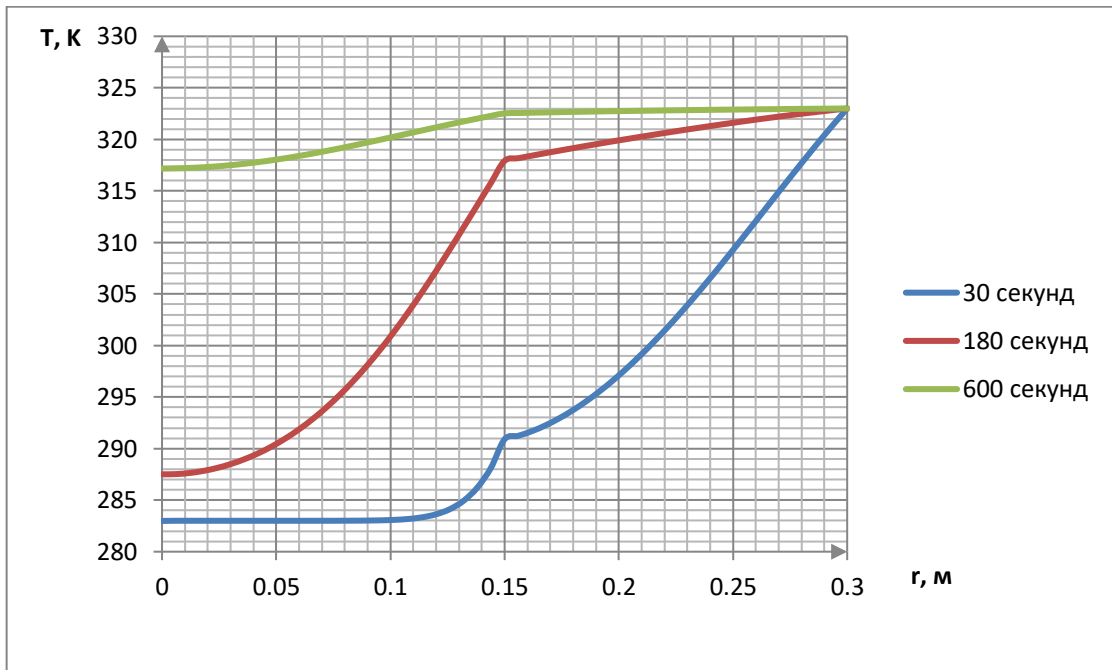


Рисунок 7 – Распределение температуры по радиусу сферы в различные моменты времени

Задача 3

Определить температурное поле в сфере, состоящей из диоксида урана через 10, 60, 300 с процесса нагрева. Радиус сферы $R=0,5$ м. На границе $r=R$ поддерживается постоянная температура $T_e = 363$ К. Начальная температура сферы $T_0 = 323$ К. Теплоемкость и плотность диоксида урана составляют $c = 236$ Дж/(кг · К), $\rho = 10950$ кг/м³. Коэффициент теплопроводности диоксида урана:

$$\lambda(T) = \frac{5500}{560 + T} + 0,942 \cdot 10^{-10} T^3.$$

Математическая постановка данной задачи выглядит следующим образом.

Уравнение теплопроводности:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\sin \varphi \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right), 0 < \varphi < \pi, 0 < r < R, t > 0$$

Начальные условия:

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq \varphi \leq \pi, 0 \leq r \leq R$$

Граничные условия:

$$\varphi = 0: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, 0 \leq r \leq R, t > 0$$

$$\varphi = \pi: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, 0 \leq r \leq R, t > 0$$

$$r = 0: \frac{\partial T}{\partial r} = 0, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0$$

$$r = R: T = T_e, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0$$

Полученные результаты приведены на рис. 8.

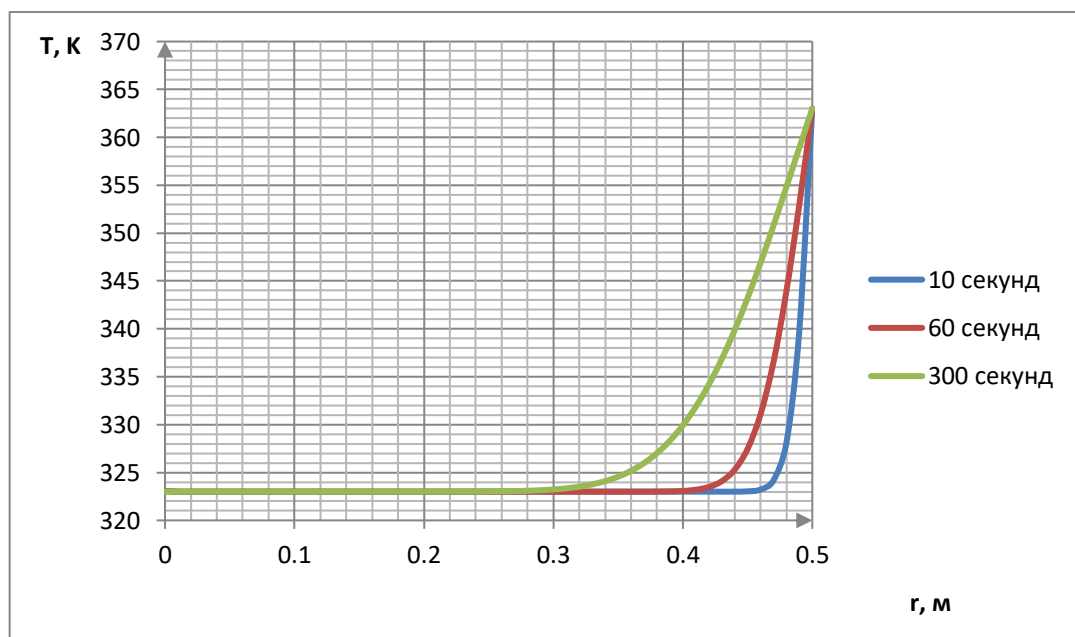


Рисунок 8 – Распределение температуры по радиусу сферы в различные моменты времени

Задача 4

Определить температурное поле в сфере из трифторида алюминия ($c = 1260$ Дж/(кг · К), $\rho = 3070$ кг/м³, $\lambda = 60$ Вт/(м · К), $M = 0,084$ кг/

моль) радиусом $R=0,3$ м через 60, 120, 300 с процесса нагрева. Начальная температура сферы $T_0 = 1273$ К. На границе $r=R$ происходит фазовый переход (испарение материала). Коэффициент аккомодации $A = 0,1$, предэкспонент фазового перехода $P_0 = 10^5$ Па, энергия активации процесса $Q_{\text{исп}} = 3,8 \cdot 10^4$ Дж/кг.

Математическая постановка данной задачи выглядит следующим образом.

Уравнение теплопроводности:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\sin \varphi \lambda \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right), 0 < \varphi < \pi, 0 < r < R, t > 0$$

Начальные условия:

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq \varphi \leq \pi, 0 \leq r \leq R$$

Граничные условия:

$$\varphi = 0: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, 0 \leq r \leq R, t > 0$$

$$\varphi = \pi: \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, 0 \leq r \leq R, t > 0$$

$$r = 0: \frac{\partial T}{\partial r} = 0, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0$$

$$r = R: \begin{cases} \lambda \frac{\partial T}{\partial r} = q - w_{\text{исп}} \cdot Q_{\text{исп}}, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0 \\ w_{\text{исп}} = \frac{A(P_{\text{н}} - P_{\text{атм}})}{\sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}}, 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0 \\ P_{\text{н}} = P_0 \exp\left(-\frac{Q_{\text{исп}}}{RT}\right), 0 \leq \varphi \leq \pi, t > 0 \end{cases}$$

Полученные результаты приведены на рис. 9.

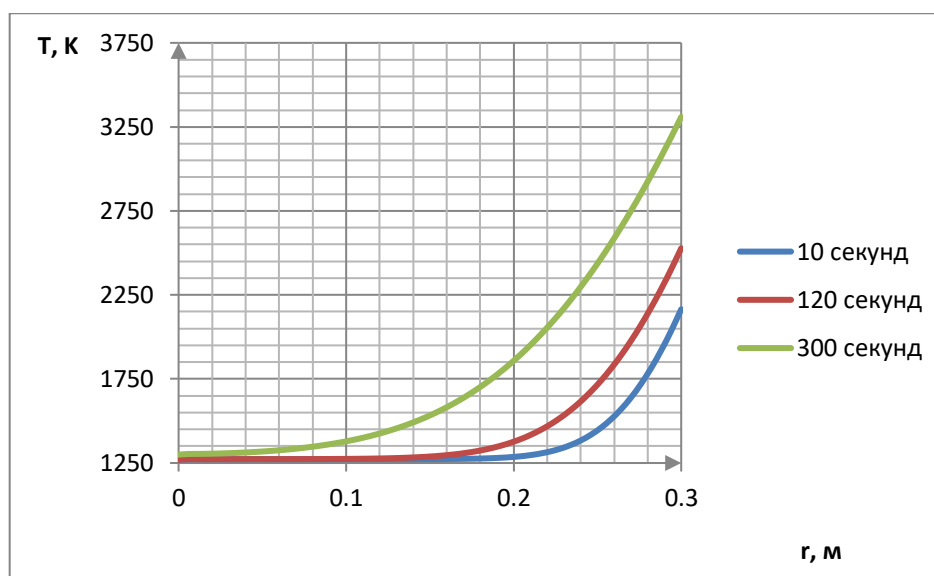


Рисунок 9 – Распределение температуры по радиусу сферы в различные моменты времени

Полученные зависимости (рис. 6-9) идентичны зависимостям, построенным по результатам решения аналогичных задач [43]. По результатам верификации математической модели следует вывод, что прогностический потенциал разработанной модели высок.

3 Результаты математического моделирования

В соответствии с описанными ранее математической и физической постановками задачи разработана математическая модель изучаемых процессов в среде MATLAB.

Ниже представлены результаты работы программы, реализующей решение дифференциальных уравнений в частных производных, входящих в модель, методом конечных разностей. В качестве примера рассмотрена работа программы для частицы ВУТ диаметром 2 мм и толщиной пленки 0,25 мм (рис. 10).

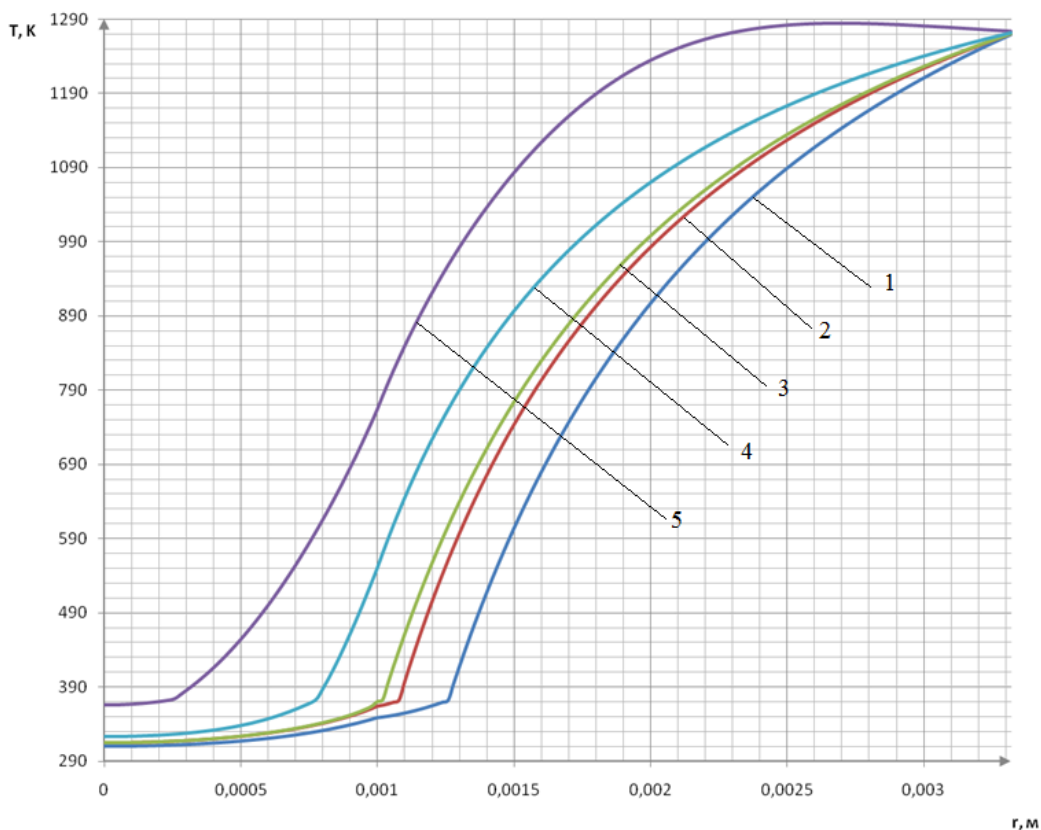


Рисунок 10 – Распределение температуры по радиусу:

- 1 – начальный момент времени, $t=0$;
- 2 – нагрев и испарение приповерхностной пленки, $t=0,8455$ с;
- 3 – полное испарение приповерхностной пленки, $t=0,8564$ с;
- 4 – испарение внутрипоровой влаги, термическое разложение частицы, $t=1,0664$ с;
- 5 – зажигание летучих веществ вблизи частицы, $t=1,0664$ с.

В начальный момент времени происходит нагрев приповерхностной водяной пленки посредством конвекции и излучения, что инициирует ее испарение. Сравнение зависимостей 1 и 2 (рис. 10) показывает, как изменяется температурное поле в рассматриваемой области решения задачи в течение испарения пленки. После полного испарения пленки происходит нагрев слоя топлива до температуры парообразования (зависимость 3, рис. 10). Дальнейший нагрев (зависимость 4, рис. 10) ведет к испарению внутрипоровой влаги частицы и термическому разложению, которое сопровождается выходом летучих веществ в газовую область. При достижении достаточной концентрации летучих начинается их воспламенение (зависимость 5, рис. 10).

3.1 Влияние размеров частиц водоугольного топлива на зажигание

При подаче водоугольного топлива в топку образуется множество частиц, размеры которых отличаются друг от друга, что дает обоснование для изучения влияния размеров частиц ВУТ на характеристики зажигания.

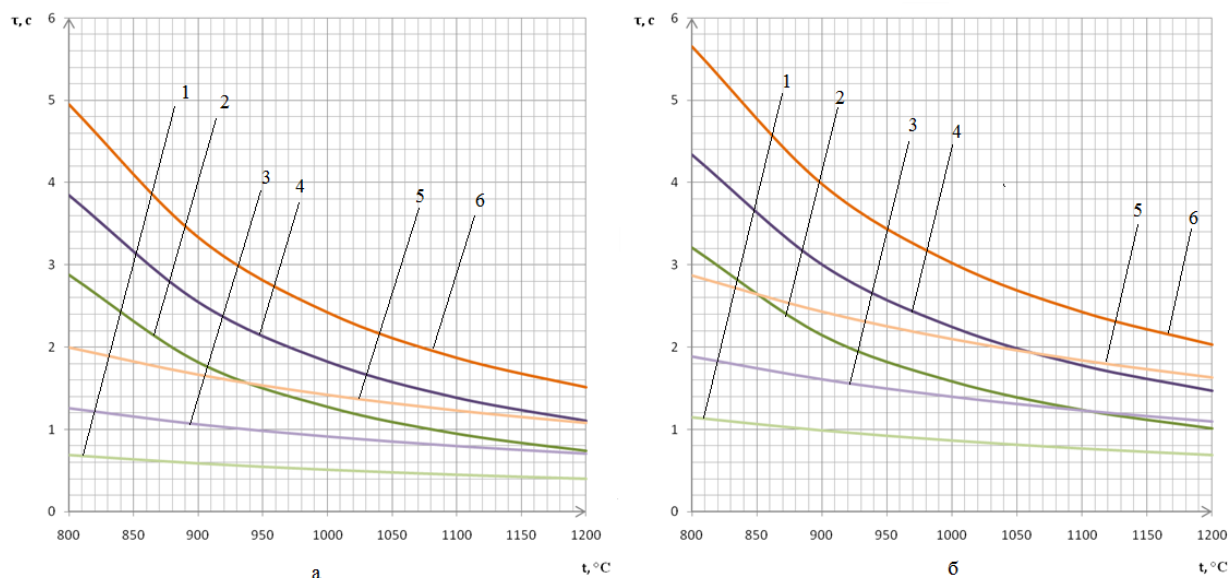


Рисунок 11 – Зависимость времени испарения водяной пленки и задержки зажигания летучих веществ для частицы ВУТ на основе угля марки Б от температуры окружающей среды при различном диаметре частицы и постоянной толщине пленки, равной 0,12 мм (а) и 0,25 мм (б):

- 1, 2 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для частицы диаметром 2 мм,
- 3, 4 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для частицы диаметром 3 мм,
- 5, 6 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для частицы диаметром 4 мм

На рис.11 приведены зависимости времен задержки зажигания частицы ВУТ и испарения пленки воды при варьировании диаметра капли ВУТ и толщины водяного слоя. Анализ зависимостей показывает, что увеличение температуры топочного пространства сокращает время задержки зажигания. При этом можно отметить, что с ростом диаметра частицы индукционный период также увеличивается. Так увеличение диаметра капли

ВУТ с 2 до 4 мм приводит к увеличению времени задержки воспламенения в 1,7 раза (с 2,88 до 4,95 с) при $T_e=800^{\circ}\text{C}$ и в 2 раза (с 0,74 до 1,51 с) при $T_e=1200^{\circ}\text{C}$.

Увеличение толщины водяной пленки (рис.11, б) приводит к удлинению всего индукционного периода вследствие высокого эндотермического эффекта испарения воды и ее большой теплоемкости.

3.2 Влияние толщины пленки, которой покрыты частицы водоугольного топлива на зажигание

Толщина водяной пленки, покрывающей частицы ВУТ, может принимать различное значение. Ее наличие может существенно повлиять на воспламенение частиц ВУТ ввиду высоких значений эндотермического эффекта испарения и теплоемкости воды. Соответственно, можно сказать, что толщина пленки воды является значимым фактором, влияющим на характеристики зажигания частицы ВУТ.

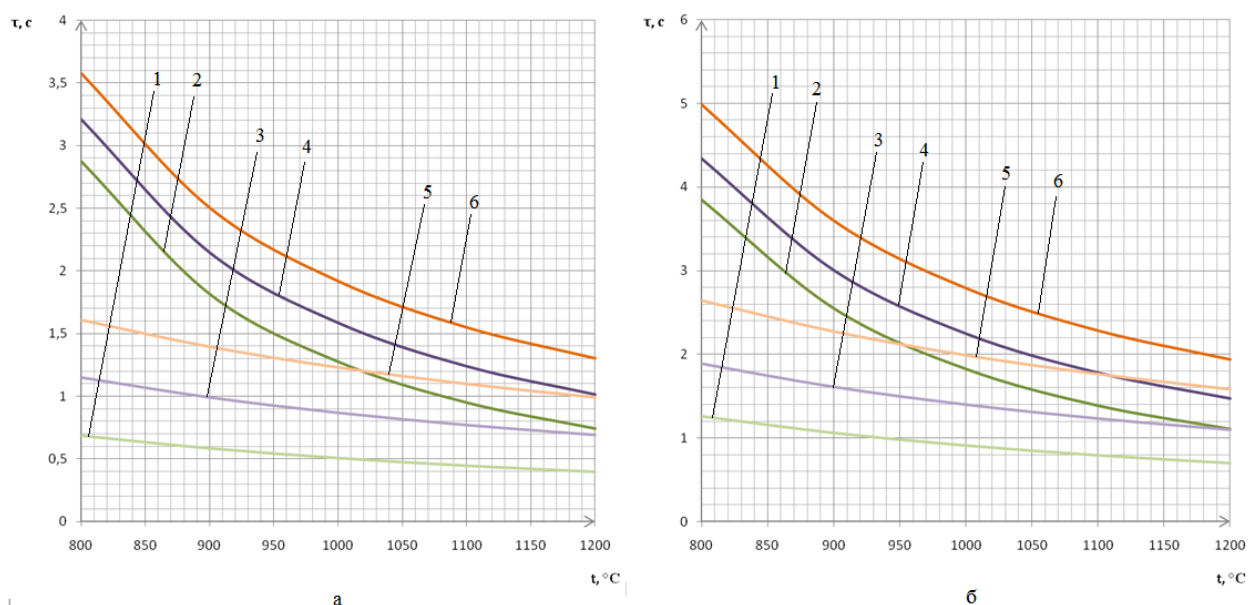


Рисунок 12 – Зависимость времени испарения водяной пленки и задержки зажигания летучих веществ для частицы ВУТ на основе угля марки Б от температуры окружающей среды при различной толщине пленки и постоянном диаметре частицы, равном 2 мм (а) и 3 мм (б):

- 1, 2 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки 0,12 мм,
- 3, 4 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки 0,25 мм,
- 5, 6 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки 0,4 мм

На рис. 12 приведены зависимости времен испарения водяной пленки и времени задержки воспламенения частиц ВУТ покрытых водяным слоем

при различной толщине последнего. Можно отметить, что увеличение толщины пленки с 0,12 до 0,4 мм при диаметре частицы 2 мм (рис.12, а) приводит к замедлению всего процесса воспламенения на 76% (с 0,74 с до 1,3 с) при $T_e=1200^{\circ}\text{C}$.

Анализ полученных зависимостей, приведенных на рис. 12, показывает, что испарение водяной пленки оказывает существенное влияние на термическую подготовку к зажиганию частиц ВУТ.

Можно отметить, что время испарения пленки практически для всего диапазона температур составляет значительную долю от всего периода индукции. Это обусловлено тем, что в процессе испарения приповерхностного водяного слоя происходит прогрев основного слоя топлива до температуры парообразования. Соответственно, последующие этапы термической подготовки частицы ВУТ (без пленки) и воспламенения протекают значительно быстрее. Таким образом, при толщине пленки и диаметре частицы, равным 0,12 мм и 2 мм (рис.12, а), испарение составляет от 24% (при $T_e=800^{\circ}\text{C}$) до 54% (при $T_e=1200^{\circ}\text{C}$). Дальнейшее увеличение толщины пленки сопровождается возрастанием доли испарения в периоде индукции: при толщине пленки 0,4 мм (рис.12, а) эти значения составляют 45% и 76%, соответственно. С увеличением размера частиц влияние испарения пленки на ускорение следующих за ним процессов термической подготовки растет: при диаметре частицы, равном 3 мм (рис.12, б), доля испарения составляет уже 33% (при $T_e=800^{\circ}\text{C}$) и 64% (при $T_e=1200^{\circ}\text{C}$) при толщине пленки 0,12 мм, а при увеличении толщины до 0,4 мм – 53% (при $T_e=800^{\circ}\text{C}$) и 82% (при $T_e=1200^{\circ}\text{C}$).

3.3 Влияние состава ВУТ на зажигание

Водоугольное топливо может производиться из антрацитов, каменных и бурых углей различных марок и зольности. Также ВУТ изготавливают из отходов углеобогачительных фабрик.

В работе [44] отмечается, что влияние марки угля на температуру воспламенения несущественно. Вместе с тем, результаты практического применения показывают, что при сжигании ВУТ, приготовленных из высокозольных угольных шламов, требуется более высокий первоначальный нагрев топочного пространства для инициирования процесса воспламенения топлива. [45].

Рассмотрим, как отличаются времена задержки зажигания частиц и испарения пленки воды для ВУТ, основанных на длиннопламенном угле и на отходах углеобогащения.

Таблица 1 – Теплофизические и термохимические характеристики компонентов ВУТ [46, 47]

	Длиннопламенный уголь (Донецкий бассейн)	Отходы углеобогащения (ОФ «Чумаковская»)	Бурый уголь (Ирша-Бородинское месторождение)
Теплоемкость, Дж/(кг · К)	1100	960	1170
Теплопроводность, Вт/(м · К)	0,116	0,16	0,151
Плотность, кг/м ³	800	1216	664
Энергия активации, Дж/моль	29300		
Предэкспонент реакции, 1/с	14,2		
Тепловой эффект, кДж/кг	-216,9	-237	-48,6

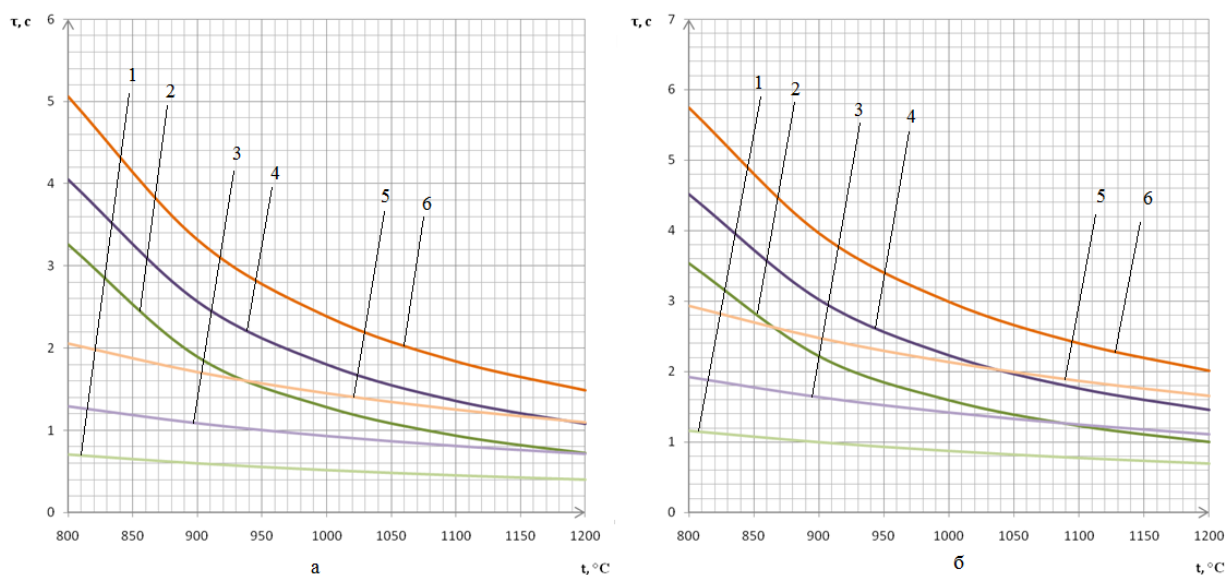


Рисунок 13 – Зависимость времени испарения водяной пленки и задержки зажигания летучих веществ от температуры окружающей среды для частицы ВУТ на основе угля марки Д при различном диаметре частицы и постоянной толщине пленки, равной 0,12 мм (а) и 0,25 мм (б):

- 1, 2 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для частицы диаметром 2 мм,
- 3, 4 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для частицы диаметром 3 мм,
- 5, 6 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для частицы диаметром 4 мм

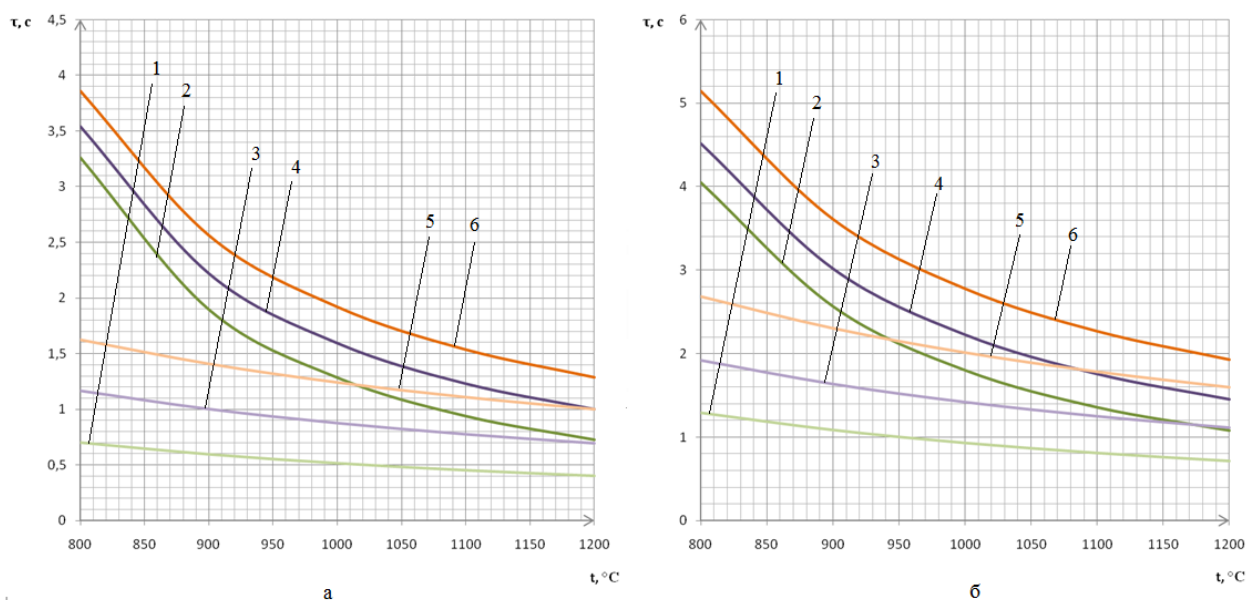


Рисунок 14 – Зависимость времени испарения водяной пленки и задержки зажигания летучих веществ от температуры окружающей среды для частицы ВУТ на основе угля марки Д при различной толщине пленки и постоянном диаметре частицы, равном 2 мм (а) и 3 мм (б):

- 1, 2 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки 0,12 мм,
- 3, 4 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки 0,25 мм,
- 5, 6 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки 0,4 мм

Зависимости времен полного испарения водяной пленки и задержки зажигания частицы водоугольного топлива на основе длиннопламенного угля (рис. 13, 14) практически идентичны выше приведенным для топлива, изготовленного из бурого угля (рис. 11, 12).

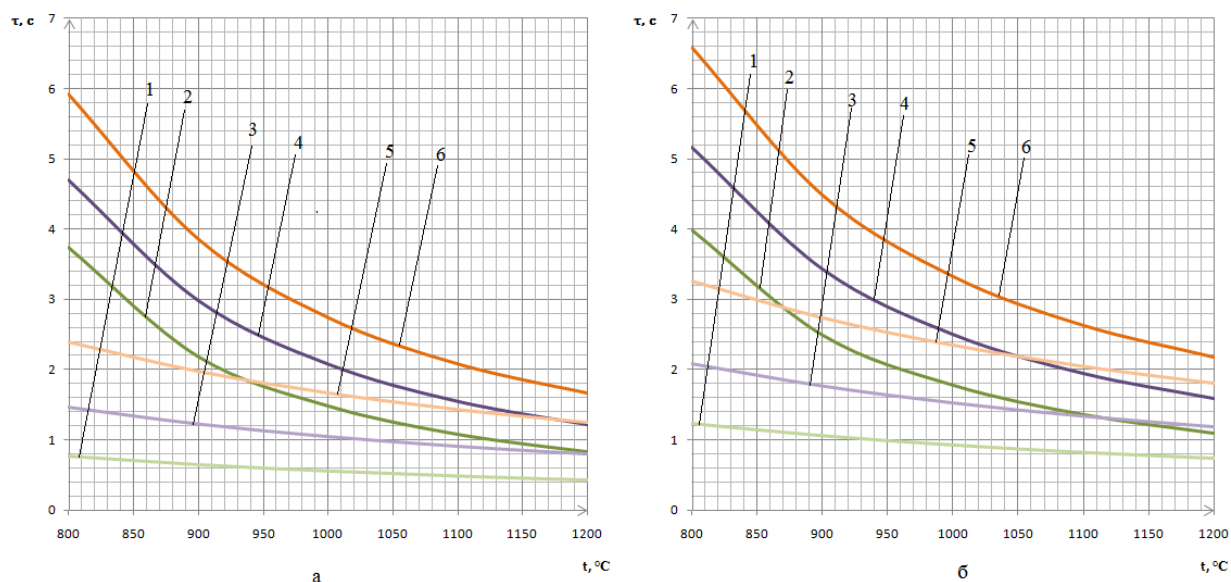


Рисунок 15 – Зависимость времени испарения водяной пленки и задержки зажигания летучих веществ от температуры окружающей среды для частицы ВУТ на основе отходов углеобогащения при различном диаметре частицы и постоянной толщине пленки, равной 0,12 мм (а) и 0,25 мм (б):

- 1, 2 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для частицы диаметром 2 мм,
- 3, 4 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для частицы диаметром 3 мм,
- 5, 6 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для частицы диаметром 4 мм

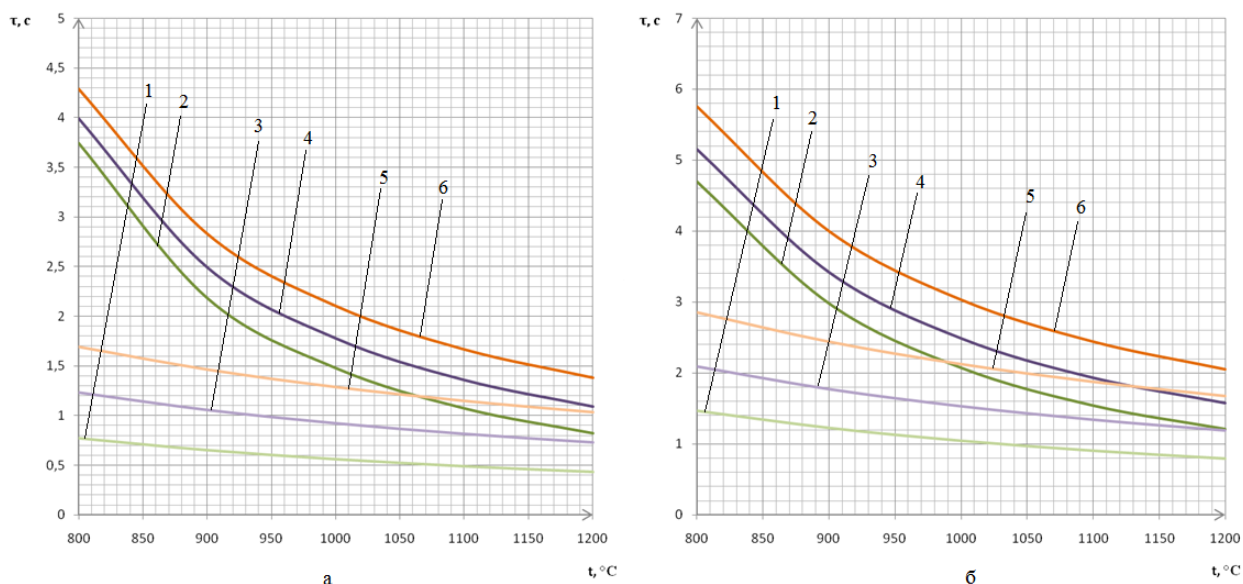


Рисунок 16 – Зависимость времени испарения водяной пленки и задержки зажигания летучих веществ от температуры окружающей среды для частицы ВУТ на основе отходов углеобогащения при различной толщине пленки и постоянном диаметре частицы, равном 2 мм (а) и 3 мм (б):

- 1, 2 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки 0,12 мм,
- 3, 4 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки 0,25 мм,
- 5, 6 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки 0,4 мм

Зависимости времен полного испарения водяной пленки и задержки зажигания частицы водоугольного топлива на основе отходов углеобогащения (рис. 15, 16) подобны выше приведенным зависимостям (рис. 11-14). Однако у ВУТ на отходах углеобогащения испарение приповерхностной пленки протекает дольше, также стоит отметить, что это топливо зажигается позже остальных. Например, для частицы диаметром 4 мм с толщиной пленки 0,12 мм (рис. 11 и 15) при $T_e=800^\circ\text{C}$ разница во временах зажигания составляет 0,96 с (для ВУТ на основе угля Б – 4,95 с, для ВУТ на основе отходах – 5,91 с), а разница во временах испарения – 0,39 с (для ВУТ на основе угля Б – 2 с, для ВУТ на основе отходах – 2,39 с). При

$T_e=1200^{\circ}\text{C}$ – 0,15 с (для ВУТ на основе угля Б – 1,51 с, для ВУТ на основе отходов – 1,66 с) и 0,17 с (для ВУТ на основе угля Б – 1,08 с, для ВУТ на основе отходов – 1,25 с), соответственно.

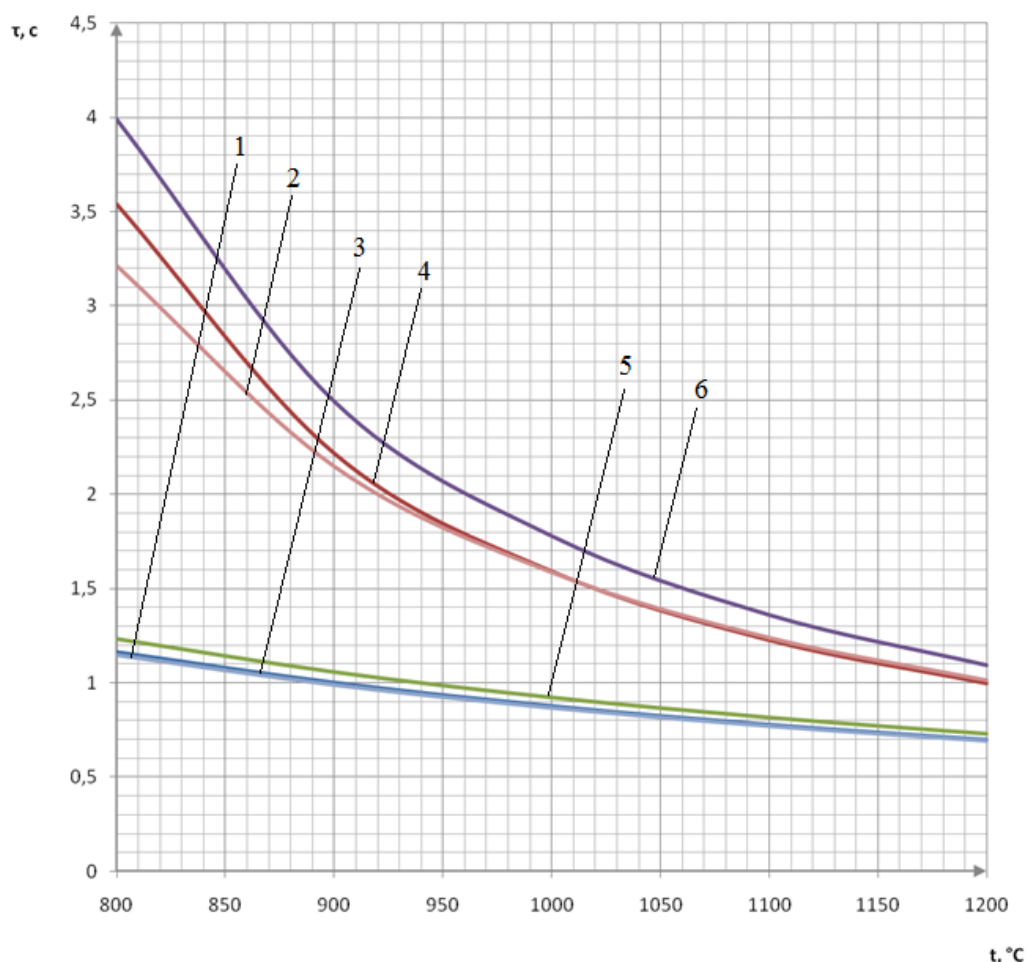


Рисунок 17 – Зависимость времени испарения водяной пленки и задержки зажигания летучих веществ от температуры окружающей среды при толщине пленки, равной 0,4 мм, и диаметре частицы, равном 2 мм:

- 1, 2 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для ВУТ на основе угля марки Б,
- 3, 4 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих для ВУТ на основе угля марки Д,
- 5, 6 – время испарения водяной пленки и задержка зажигания летучих при толщине пленки для ВУТ на основе отходов углеобогащения

Полученные зависимости для каждого вида ВУТ (на основе бурого, длиннопламенного углей и на основе отходов углеобогащения) приведены на рис. 17.

На основе анализа зависимостей можно сказать, самый длительный индукционный период наблюдается у ВУТ, основанного на отходах углеобогащения. Это топливо характеризуется самым поздним зажиганием по сравнению с рассматриваемыми видами топлива во всем рассматриваемом температурном диапазоне (зажигание происходит позже, чем у ВУТ на основе угля марки Б, на 0,8 с при $T_e=800^{\circ}\text{C}$, при $T_e=1200^{\circ}\text{C}$ это значение уменьшается до 0,1 с). Испарение водяной пленки на частицах из этого топлива также протекает несколько медленнее (максимальная разница во временах испарения по сравнению с остальными ВУТ – 0,1 с при $T_e=800^{\circ}\text{C}$). Такое различие связано с отличающимися теплофизическими и термохимическими характеристиками. Отходы углеобогащения имеют сложный состав, в который входят глинистые минералы, углистое вещество, кварц, полевые шпаты, слюды, гематит, магнетит и др., что приводит к повышению плотности и теплопроводности отходов, соответственно, прогрев и испарение пленки будут протекать иначе. Также отходы углеобогащения имеют более высокую теплоту эндотермической реакции разложения по сравнению с углем, что также сказывается на термической подготовке.

ВУТ на основе угля марки Б и Д характеризуются практически одинаковым протеканием испарения водяной пленки во всем температурном диапазоне. При температуре топочного пространства, превышающей 950°C , задержка зажигания частиц также имеет равные значения. Самая низкая теплота эндотермической реакции разложения у бурого угля, поэтому ВУТ на основе угля марки Б характеризуется более быстрым протеканием процессов термической подготовки при температуре топочного пространства ниже 950°C по сравнению с ВУТ, состоящего из угля марки Д.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4Б	Афанасьевой Виктории Георгиевне

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Математическое моделирование зажигания частиц водоугольного топлива, покрытых водяной пленкой. Область применения объекта исследования: сжигание водоугольного топлива в топочных устройствах котельных агрегатов на ТЭС.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность	1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования. – физико-химическая природа вредности, её связь с темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований. – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
2. Экологическая безопасность.	– защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	4.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.04.18
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Василевский Михаил Викторович	к.т.н., доцент		27.04.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Афанасьева Виктория Георгиевна		27.04.18

4 Социальная ответственность

Введение

Социальная ответственность – сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач, норм и ценностей, понимание последствий осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Социальная ответственность подразделяется на индивидуальную и корпоративную.

Коллективная социальная ответственность включает в себя как ответственность компании перед обществом, так и ответственность экологического характера за свою деятельность. Ее главными составными элементами являются социальная политика в отношении общества и политика в сфере охраны окружающей среды. Корпоративная социальная ответственность подразумевает наличие обязанности у организаций принимать такие решения, которые не наносят вред сотрудникам компании, другим предприятиям, обществу в целом и природе, принимать дополнительные меры для повышения качества жизни работников и их семей, а также местного сообщества и общества в целом. К вопросам социальной ответственности на производстве относятся работы по охране труда, окружающей среды, работы по предупреждению чрезвычайных ситуаций и разработке правил поведения в их условиях.

Личная социальная ответственность – ответственность человека за свои действия перед обществом и самим собой. Она принимает многие формы, начиная от социально ответственного потребления до благотворительной деятельности социальной и экологической направленности.

Сегодняшнее плачевное состояние окружающей среды – следствие безответственности как предприятий, так и лично каждого человека. Одной

из главных экологических проблем, вызванных антропогенными факторами, в частности сжиганием топлива на ТЭС, является глобальное потепление. Срочность решения этой проблемы может только казаться не столь очевидной, поэтому разработку действенных мер по предотвращению изменения климата необходимо поддерживать и стимулировать.

Как известно, в России наиболее используемым топливом на ТЭС является уголь. Его сжигание сопровождается образованием токсичных продуктов сгорания (оксидов азота и серы), выбросы которых и являются главной причиной глобального потепления. Одним из технологических решений, позволяющих снизить отрицательное воздействие использования угля на атмосферу, является его сжигание в виде водоугольного топлива. Результаты теоретического исследования процессов зажигания водоугольного топлива, сделанного в рамках ВКР, могут использоваться при проектировании топочных устройств котельных агрегатов, работающих на данном топливе, и при разработке методов повышения эффективности сжигания ВУТ.

Выпускная квалификационная работа (ВКР) выполнялась с применением компьютерной техники, поэтому в данном разделе рассмотрены вопросы по охране труда и технике безопасности, относящиеся к работникам компьютерной лаборатории.

4.1 Производственная безопасность

Таблица 4.1 – Опасные и вредные факторы при моделировании зажигания топлива на ЭВМ

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)			
	Вредные	Нормативные документы	Опасные	Нормативные документы
Эксплуатация ПЭВМ	Воздействие электромагнитного поля на оператора ПЭВМ	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03	Электрический ток	ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ
	Несоответствие нормам показателей воздушной среды – запыленность, ионизация воздуха, параметров микроклимата	СанПиН 2.2.4.548-96		
	Плохое качество освещения (отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения, повышенная яркость света, пониженная световая и цветовая контрастность, пульсация светового потока, прямая и отраженная блескость	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03	Пожар	СНиП 21-01-97
	Повышенные уровни шума на рабочем месте	СН 2.2.4/2.1.8.562-96		
	Нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда)	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03		

4.1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований

4.1.1.1 Электромагнитное поле

Электромагнитное поле (ЭМП) создается магнитными катушками отклоняющей системы, находящимися около цокольной части электроннолучевой трубки монитора. ЭМП обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека.

Биологическое воздействие ЭМП зависит от длины волны, интенсивности, продолжительности режимов воздействия, размеров и анатомического строения органа, подвергающегося влиянию ЭМП.

Механизм нарушений, происходящих в организме под влиянием ЭМП, обусловлен их специфическим действием.

Специфическое воздействие ЭМП обусловлено биохимическими изменениями, происходящими в клетках и тканях. Наиболее чувствительными являются центральная и сердечно-сосудистая система.

Тепловое воздействие ЭМП характеризуется значительным умственным напряжением и нервно-эмоциональной нагрузкой, высокой напряженностью зрительной работы и достаточно большой нагрузкой на мышцы рук при работе с клавиатурой ЭВМ. Большое значение имеет рациональная конструкция и расположение элементов рабочего места, что важно для поддержания оптимальной работы.

В процессе работы с компьютером необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках, возможное повышение температуры тела. Некоторые органы и ткани человека, обладающие слабо выраженной терморегуляцией, более чувствительны к облучению (мозг, глаза, почки, кишечник).

Влияние электромагнитных излучений заключается не только в их тепловом воздействии. Микропроцессы, протекающие в организме под действием излучений, за ориентации их параллельно электрическим силовым

линиям, что может приводить к изменению свойств молекул; особенно для человеческого организма важна поляризация молекул воды.

Таким образом, степень воздействия ЭМП на организм человека зависит от интенсивности облучения, длительности воздействия и диапазона частот.

Длительное и систематическое воздействие на человека полей вызывает:

- повышенную утомляемость;
- головную боль;
- сонливость и т.д.

При работе с ПЭВМ необходимо принимать следующие меры организационного характера:

1) Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

2) Работа на ЭВМ не более 6 часов в день с перерывами через 1 час.

Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе с ПЭВМ устанавливается суммарное время регламентированных перерывов. В таблице 3 представлено суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ.

Таблица 4.3 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, ч	При 8 часовой смене	при 12 часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы:

1) группа А – работа по считыванию информации с экрана ВДТ с предварительным запросом;

2) группа Б – работа по вводу информации:

3) группа В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к разным видам трудовой деятельности, за основную работу с ПЭВМ следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с ПЭВМ, которые определяются: для группы А – по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60000 за смену; для группы Б – по суммарному числу считываемых

или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 4000 знаков за смену; для группы В – по суммарном времени непосредственной работы с ПЭВМ за рабочую смену, но не более 6 ч за смену.

4.1.1.2 Освещение

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать прямую блесткость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м².

Следует ограничивать отраженную блесткость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна

составлять не более 200 кд/м², защитный угол светильников должен быть не менее 40°.

Светильники местного освещения должны иметь непросвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40°.

Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1-5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

Общее освещение при использовании люминесцентных светильников следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении видеодисплейных терминалов. При периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализованно над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.

Коэффициент запаса для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4.

Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

4.1.1.3 Микроклимат, содержание аэроионов и вредных химических веществ в воздухе

В помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Нормы метеорологических условий учитывают время года и характер производственного помещения. В табл. 4.4 приведены нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести 1а.

Таблица 4.4 – Нормы метеоусловий

Холодный период года (ниже +10°C)						Холодный период года (выше +10°C)					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
22-24	40-60	0,1	19-26	15-75	0,1	23-25	40-60	0,1	20-29	15-75	0,1

В помещениях должна проводиться ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Уровни положительных и отрицательных аэроионов в воздухе помещений должны соответствовать действующим санитарно-эпидемиологическим нормативам (1500-3000 шт/см² – для положительных ионов, 3000-5000 шт/см² – для отрицательных ионов).

Содержание пыли не должно превышать 1 мг/м³.

4.1.1.4 Шум

В помещениях образовательных учреждений уровни шума не должны превышать допустимых значений, установленных для жилых и общественных зданий.

В лаборатории источником шумов являются электродвигатели в системе охлаждения и центральная система вентиляции ЭВМ. Допустимый уровень шумов для помещений компьютерных залов – 50 дБ.

Защитой от шумов является заключение вентиляторов в защитный кожух и установка внутрь корпуса ЭВМ.

Шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы и т.п.), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ.

4.1.1.5 Перегрузки

При работе с ПЭВМ основным фактором, влияющим на нервную систему, является огромное количество информации, которое необходимо воспринимать, что влияет на сознание и психофизическое состояние из-за монотонности работы. Поэтому меры, позволяющие снизить воздействие этого вредного производственного фактора, которые регулируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, являются важными в работе оператора ПЭВМ. Они позволяют увеличить производительность труда и предотвратить появление профессиональных болезней.

Вид трудовой деятельности относится к группе В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. Категория тяжести для данной группы определяется исходя из общего времени работы с ПЭВМ за рабочий день. В зависимости от уровня нагрузки за рабочую смену устанавливается суммарное время регламентированных перерывов.

При 8-часовой рабочей смене и III категорией тяжести (до 6 часов непрерывной работы с компьютером) суммарное время перерывов должно составлять 90 минут. Рекомендуется организовывать перерывы на 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы. Продолжительность постоянной работы с ПК не должна превышать 2 часов.

4.1.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований

4.1.2.1 Электрический ток

Электрические установки – это большая потенциальная опасность для человека.

Специфическая опасность электроустановок в следующем: токоведущие проводники, корпуса стоек ЭВМ и прочего оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждали бы об опасности.

Реакция человека на электрический ток возникает лишь при протекании тока через тело.

Для предотвращения электротравматизма большое значение имеет правильная организация обслуживания действующих установок.

Во время работ в электроустановках для предупреждения электротравматизма очень важно проводить соответствующие организационные и технические мероприятия.

Организационные мероприятия:

- оформление работ нарядом или устным распоряжением;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе;
- переводов на другое рабочее место;
- окончания работы.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ снятием напряжения:

- отключение оборудования на участке, выделенном для производства работ и принятием мер против ошибочного или самопроизвольного включения;
- ограждение при необходимости рабочих мест и оставшихся под напряжением токоведущих частей;
- вывешивание предупреждающих плакатов и знаков безопасности;
- проверка отсутствия напряжения;
- наложение заземления.

Особые требования предъявляются к обеспечению электробезопасности пользователей, работающих на персональных компьютерах. К их числу относятся следующие:

- все узлы одного персонального компьютера подключено к нему периферийное оборудование должны питаться от одной фазы электросети;
- корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;
- для отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный щит;
- все соединения ПЭВМ и внешнего оборудования должны производиться при отключённом электропитании.

4.1.2.2 Пожар

Пожар – это неконтролируемое горение во времени и пространстве: пожар наносит материальный ущерб и создает угрозу жизни и здоровью человека.

Причины возникновения пожара в компьютерной аудитории могут быть:

- неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов);
- неправильное устройство и неисправность вентиляционной системы;
- самовоспламенение и возгорание веществ;
- короткое замыкание;
- статические электричество.

В современных ЭВМ очень высока плотность размещения электронных схем. В непосредственной близости друг друга располагаются соединительные провода, коммуникационные кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 80-100°C.

При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение и, как следствие, короткое замыкание, сопровождаемое искрением, которое ведет к недопустимой перегрузки элементов электронных схем. Они, перегреваясь, сгорают, разбрызгивая искры. Следовательно, допускается работа только на исправных установках и приборах. К работе могут допускаться лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Согласно нормам первичных средств пожаротушения ППБ 101-89 «Правила пожарной безопасности для общеобразовательных школ, профессионально технических училищ, школ интернатов, детских домов, дошкольных, внешкольных и других учебно-воспитательных учреждений» с учетом наличия электроустановок напряжением до 1000 В, на 100 м² должны быть: один углекислотный огнетушитель типа ОУ-2, ОУ-5 или ОУ-8. Категория по пожарной опасности – В-4, так как имеются твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыль и волокна), способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть.

Сотрудники лаборатории должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной клетки.

4.2 Экологическая безопасность

Теоретическое исследование зажигания водоугольного топлива оказывает наибольшее влияние на селитебную зону и литосферу, поэтому для обеспечения экологической безопасности необходимо осуществлять их защиту.

4.2.1 Защита селитебной зоны

Для защиты окружающей среды от электромагнитных волн, создаваемых компьютерной техникой используют экранирование источника волн, которое может быть либо полным, либо частичным. Для экранирования используют

материалы с высокой электрической проводимостью в виде листов или сеток. К таким материалам относятся медь, латунь, алюминий и его сплавы.

4.2.2 Защита литосферы

При теоретическом исследовании образуются такие твердые бытовые отходы, как бумага, пластик и лампы.

Бумажные отходы имеют возможность многократной переработки, что может помочь в сохранении от вырубки деревьев. Поэтому данные отходы желательно сдавать в пункты переработки макулатуры.

Пластиковые отходы вызваны эксплуатацией копировальной техники и принтеров: использованные картриджи состоят главным образом из пластика. Для разложения естественным путем картриджу требуется около 300 лет. Учитывая огромные объемы их использования по всему миру, правильная утилизация картриджей является одной из важных экологических проблем. При неправильной утилизации картриджи сжигаются вместе с бытовыми отходами, что приводит к выделению из полистирола вредных веществ в атмосферу. Для правильной утилизации необходимо обратиться к услугам специальных утилизирующих компаний, которые при помощи специального оборудования без вреда для окружающей среды сожгут картриджи.

Одними из наиболее часто используемых для освещения помещений и имеющих наиболее сложную утилизацию являются люминесцентные лампы. При неправильной утилизации ртутные пары, образуемые данными лампами, оказывают сильное отравляющее воздействие на живые организмы. Поэтому утилизация люминесцентных лампы должна проводиться в соответствии со всеми пунктами закона о переработке и захоронении высокотоксичных отходов.

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Исследования проводятся на ЭВМ, поэтому вероятной ЧС является возникновение пожара вследствие короткого замыкания компьютерной техники и несоблюдения правил эксплуатации электрических устройств.

Предупреждение пожаров является основной задачей руководителей инженерно-технических работников. В работе по предупреждению пожаров большая роль принадлежит личному составу пожарной охраны, который проводит целый комплекс мероприятий по противопожарной защите объектов, осуществляет постовую и дозорную службу, выявляет имеющиеся недостатки и принимает меры к их своевременному устранению в соответствии с ФЗ от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности".

В соответствии с СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение, в котором выполнялась ВКР, относится к наименее опасной категории (Д) с пониженной пожароопасностью.

К пожарно-профилактическим мероприятиям относятся:

- выбор качественного электрооборудования и правильных способов его монтажа с учетом пожароопасности территории, а также регулярный контроль исправности защитных устройств и аппаратов на электрооборудовании, постоянный контроль за надлежащей эксплуатацией электроустановок и электросетей;
- систематический надзор за выполнением правил технической эксплуатации электрических устройств;
- регулярная проверка знаний противопожарной безопасности.
- пожарно-техническая проверка для выявления состояния объектов представителями пожарного надзора с последующим выполнением предписаний и приказов;
- систематическое выполнение противопожарных работ;
- проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения;
- проведение учебных тревог и эвакуаций персонала организации;
- прохождение противопожарного инструктажа.
- для предотвращения пожара помещение с ПЭВМ должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения: углекислотными огнетушителями

типа ОУ-2 или ОУ-5; пожарной сигнализацией, а также, в некоторых случаях, автоматической установкой объемного газового пожаротушения.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.4.1 Правовые нормы трудового законодательства

Согласно трудовому кодексу РФ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю, а рекомендуемая продолжительность работы за компьютером – 6 часов за смену. Перерывы в работе за ПК должны проводиться каждые 45-60 минут работы и иметь продолжительность 10-15 минут, но при этом продолжительность непрерывной работы за компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 1 час. Во время регламентированных перерывов желательно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения. При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22 до 6 ч), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов следует увеличивать на 30 %.

4.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В данном пункте приводятся эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, проектируемой рабочей зоны в производственных условиях для создания комфортной рабочей среды.

Работник компьютерной лаборатории подвергается большим зрительным нагрузкам, также его деятельность характеризуется малой двигательной активностью. Выше перечисленное отрицательно воздействуют на самочувствие и здоровье работника.

Рабочее место должно подчиняться требованиям охраны труда, чтобы условия труда были благоприятными.

Основным источником зрительных нагрузок при работе является дисплей. Поэтому для снижения нагрузки на зрение должно соблюдаться наличие следующих пунктов:

- наличие антибликового покрытия экрана;
- согласованность цветов знаков и фона между собой;
- одновременное использование шести цветов (пурпурный, голубой, синий, зеленый, желтый, красный, черный и белый) в случае многоцветного отображения, что объясняется снижением вероятности ошибки при уменьшении количества используемых цветов и увеличении разницы между ними; в случае одноцветного изображения одновременное использование черного, белого, серого, желтого, оранжевого, зеленого цветов, запрет применения красного и голубого цветов на границе видимого спектра;
- регулярное обслуживание ПЭВМ специалистами.

В СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» даются общие требования к организации и оборудованию рабочих мест операторов ПЭВМ.

Рабочий стол должен отвечать следующим требованиям:

- обеспечение конструкцией рабочего стола оптимального размещения на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;
- регулирование высоты рабочей поверхности стола в пределах 680-800 мм (при отсутствии этой возможности высота должна равняться 725 мм);
- наличие пространства для постановки ног (его высота не менее 600 мм, ширина не менее 500 мм, глубина на уровне колен – не менее 450 мм, на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм).

Рабочий стул должен отвечать следующим требованиям:

- рабочий стул должен обеспечивать поддержание конструкции рабочего стула рабочей позы при работе с ПЭВМ, возможность изменять позу для предупреждения утомления посредством снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины;

– рабочий стул должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья;

– поверхность сиденья, спинки и других элементов стула должна быть полумягкой с нескользящим, не электризующимися и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Заключение

В данном разделе выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие при теоретическом исследовании зажигания водоугольного топлива, указаны способы снижения отрицательного воздействия этих факторов на людей. Также были описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС, рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Проблема деградации окружающей среды, ведущей к повышению напряженности в социальной сфере, напрямую связана с пониженным уровнем социальной ответственности, как личной, так и коллективной. Необходимо переосмысление существующего жизненного уклада, техники и технологий, в том числе и в сфере энергетики, с целью предотвращения ущерба, наносимого окружающей среде. Социальная ответственность, как личная, так и корпоративная, должна стать неотъемлемой частью этики человеческого общества.

Социальная роль данной ВКР связана с повышением экологической ответственности, которая заключается в развитии исследований, способствующих внедрению водоугольного топлива на ТЭС в качестве альтернативы традиционному. Масштабное внедрение ВУТ снизит антропогенную нагрузку на атмосферу.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4Б	Афанасьевой Виктории Георгиевне

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Месячный оклад научного руководителя – 17000 руб. Месячный оклад инженера – 19500 руб.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Районный коэффициент 30%
3. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Отчисления в социальные фонды 30% от ФЗП

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование работ и оценка их выполнения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Смета затрат на оборудование
	Оценка экономической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.04.18
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения социально-гуманитарных наук	Кузьмина Наталия Геннадьевна			27.04.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Афанасьева Виктория Георгиевна		27.04.18

Данный раздел служит для технико-экономического обоснования научно-исследовательской работы (НИР).

Целью НИР является математическое моделирование зажигания частиц водоугольного топлива, покрытых водяной пленкой.

НИР включает в себя создание математической модели с последующим проведением вычислительных экспериментов над ней.

5.1 Планирование работ и временная оценка их выполнения

Планирование включает в себя составление перечня работ, которые являются необходимыми для достижения поставленной цели, определение участников каждой работы, установление продолжительности работ в рабочих днях, построение линейного или сетевого графика с его последующей оптимизацией.

При установке оптимальной величины работ по теме необходимо руководствоваться тем, что степень разбивки темы на отдельные этапы и операции должна быть такой, чтобы контроль и управление работой были эффективными.

По каждому виду работ назначаются исполнители, и определяется их квалификационный уровень.

Результатом планирования работ является график реализации проекта (рис. 5.1). Для его построения составлена таблица, где представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Перечень работ и оценка времени их выполнения

№ п/п	Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дн.
1	Выдача и получение задания	Инженер Научный руководитель	1
2	Поиск и анализ научных статей по выбранной теме, проведение аналитического обзора	Инженер	15
3	Выбор программной среды моделирования, установка пакета прикладных программ	Инженер	1
4	Разработка алгоритма программного комплекса и его реализация в среде программирования	Инженер Научный руководитель	60 9
5	Выполнение экспериментов на разработанной модели	Инженер	10
6	Сравнение полученных результатов с результатами других исследований по данной теме, написание выводов	Инженер	5
7	Оформление работы	Инженер	10
Общая продолжительность		Инженер Научный руководитель	102 10

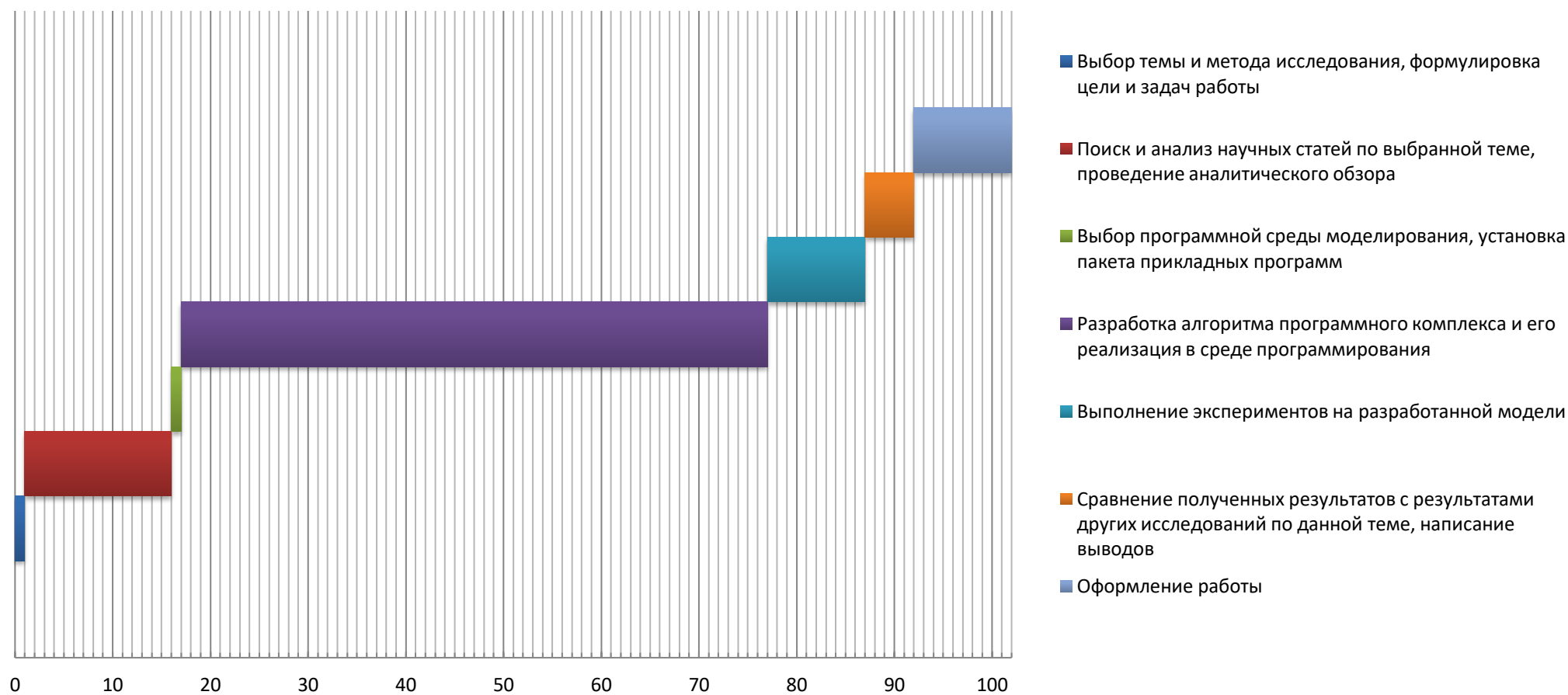


Рисунок 5.1 – График проведения работ

5.2 Смета затрат на проект

Совокупность затрат на проект определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \text{ руб.}, \quad (5.1)$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ – затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ – накладные расходы.

5.2.1 Материальные затраты

В данной работе под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские товары. Величину этих затрат принимаем $K_{\text{мат}} = 500$ руб.

5.2.2 Амортизация компьютерной техники

Амортизация показывает уменьшение стоимости компьютерной техники, на которой выполнялась работа, вследствие ее износа. Амортизация компьютерной техники рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ руб./год}, \quad (5.2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники.

$$K_{\text{ам}} = \frac{102}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1397,26 \text{ руб./год.}$$

5.2.3 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату включают в себя выплаты инженеру, разрабатывающему проект, а также научному руководителю и рассчитываются как:

$$K_{\text{з/пл}} = 3\Pi_{\text{инж}}^{\phi} + 3\Pi_{\text{нр}}^{\phi}, \text{ руб.}, \quad (5.3)$$

где $ЗП_{инж}^{\phi}$ – фактическая заработная плата студента;

$ЗП_{нр}^{\phi}$ – заработная плата научного руководителя.

Примем оклад студента равным 17000 руб., оклад научного руководителя – 19500 руб.

Месячный оклад студента:

$$ЗП_{инж}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ руб.} \quad (5.4)$$

где $ЗП_{инж}^M$ – месячная заработная плата студента;

$ЗП_0$ – месячный оклад;

K_1 – коэффициент учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

K_2 – районный коэффициент, равен 1,3 (30%).

$$ЗП_{инж}^M = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

Месячный оклад научного руководителя:

$$ЗП_{нр}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ руб.} \quad (5.5)$$

где $ЗП_{нр}^M$ – месячная заработная плата научного руководителя;

$ЗП_0$ – месячный оклад;

K_1 – коэффициент учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

K_2 – районный коэффициент, равен 1,3 (30%).

$$ЗП_{нр}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 19500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 27885 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \text{ руб.} \quad (5.6)$$

где $ЗП_{мес}$ – месячная заработная плата;

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

n^{ϕ} – фактическое число дней в проекте.

Фактическая заработная плата для инженера:

$$ЗП_{инж}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 102 = 118077,14 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата для научного руководителя:

$$ЗП_{нр}^{\phi} = \frac{27885}{21} \cdot 10 = 13278,57 \text{ руб.}$$

Общая фактическая заработная плата:

$$K_{з/пл} = 118077,14 + 13278,57 = 131355,71 \text{ руб.}$$

5.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату, они включают в себя отчисления в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования.

$$K_{соц/н} = 0,3 \cdot K_{з/пл}, \text{ руб.}, \quad (5.7)$$

$$K_{соц/н} = 0,3 \cdot 131355,71 = 39406,71 \text{ руб.}$$

5.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{пр} = 0,1(K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{соц/н}), \text{ руб.}, \quad (5.8)$$

$$K_{пр} = 0,1(500 + 1397,26 + 131355,71 + 39406,71) = 17265,97 \text{ руб.}$$

5.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{накл} = 2 \cdot K_{з/пл}, \text{ руб.}, \quad (5.9)$$

$$K_{накл} = 2 \cdot 131355,71 = 262711,42 \text{ руб.}$$

В таблице 5.2 представлена смета затрат на проект.

Таблица 5.2 – Смета затрат на проект

№ п/п	Элементы затрат	Стоимость, руб.
1	Материальные затраты	500
2	Амортизация компьютерной техники	1397,26

3	Затраты на заработную плату	131355,71
4	Затраты на социальные нужды	39406,71
5	Прочие затраты	17265,97
6	Накладные расходы	262711,42
Итого		452187,07

Использование ВУТ обеспечит сбережение энергетических и материальных ресурсов. Водоугольное топливо это не только альтернатива таким дорогостоящим видам топлива, как мазут и газ, но и более экологичный вариант использования угля: его сжигание в виде ВУТ сопровождается более низкими значениями выбросов оксидов углерода, серы, азота, которые являются основными загрязнителями атмосферы. Таким образом, сжигание ВУТ вместо угля позволит также снизить затраты на очистку дымовых газов тепловых электростанций.

К преимуществам использования ВУТ на ТЭС относят упрощение технологии приема, хранения, подачи топлива в котлы, что уменьшает капитальные затраты на сооружение ТЭС. Кроме того, для получения ВУТ могут использоваться тонкие угольные шламы угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, которые обычно подлежат только утилизации.

На настоящий момент механизмы зажигания водоугольного топлива изучены недостаточно для внедрения ВУТ на ТЭС, это делает проведение НИР обоснованным, несмотря на высокие затраты, необходимые для осуществления теоретических исследований. Результаты исследований процессов зажигания водоугольного топлива могут использоваться при проектировании топочных устройств котельных агрегатов, работающих на данном топливе, и при разработке методов повышения эффективности сжигания ВУТ.

Заключение

В рамках данного дипломного проекта проведено теоретическое исследование процессов термической подготовки и зажигания частиц ВУТ, покрытых водяной пленкой.

Разработана математическая модель, описывающая процессы испарения приповерхностной пленки воды, испарения внутрипоровой влаги частицы, ее термического разложения и воспламенения летучих веществ.

Проведены вычислительные эксперименты, цель которых состояла в определении влияния различных факторов (толщина пленки, размер частицы ВУТ, состав топлива) на временные характеристики процессов испарения пленки воды и зажигания летучих.

Выявлено, что увеличение температуры топочного пространства сокращает время задержки зажигания. С ростом диаметра частицы индукционный период увеличивается. Так увеличение диаметра капли ВУТ на основе бурого угля с 2 до 4 мм приводит к увеличению времени задержки воспламенения в 1,7 раза (с 2,88 до 4,95 с) при $T_e=800^{\circ}\text{C}$ и в 2 раза (с 0,74 до 1,51 с) при $T_e=1200^{\circ}\text{C}$.

Показано, что испарение водяной пленки оказывает существенное влияние на термическую подготовку к зажиганию частиц ВУТ. Увеличение толщины водяной пленки приводит к удлинению всего индукционного периода вследствие высокого эндотермического эффекта испарения воды и ее большой теплоемкости. Таким образом, увеличение толщины пленки с 0,12 до 0,4 мм приводит к замедлению всего процесса воспламенения на 76% при $T_e=1200^{\circ}\text{C}$ для частицы диаметром 2 мм. Однако последующие этапы термической подготовки частицы ВУТ (без пленки) протекают значительно быстрее. Это обусловлено тем, что в процессе испарения приповерхностного водяного слоя происходит прогрев основного слоя топлива до температуры парообразования. Влияние испарения на ускорение следующих за ним процессов термической подготовки становится более явным с повышением

температуры топочного пространства и увеличением толщины пленки и диаметра частицы. Таким образом, при толщине пленки и диаметре частицы, равным 0,12 мм и 2 мм, испарение составляет 24% при $T_e=800^{\circ}\text{C}$. Увеличение толщины и диаметра частицы до 0,4 мм и 3 мм, соответственно, а также повышение температуры до 1200°C приводят к возрастанию доли испарения до 82% от всего индукционного периода.

Показано, что временные характеристики зажигания ВУТ, состоящего из отходов углеобогащения, лишь немного отличаются от ВУТ, основанных на углях. При диаметре частицы 2 мм и толщине пленки 0,25 мм зажигание ВУТ на отходах происходит позже, чем у ВУТ на угле марки Б, на 0,8 с при $T_e=800^{\circ}\text{C}$, а при $T_e=1200^{\circ}\text{C}$ это значение уменьшается до 0,1 с. Испарение водяной пленки на частицах из этого топлива также протекает несколько медленнее, при этом максимальная разница во временах испарения по сравнению с остальными ВУТ составляет лишь 0,1 с при $T_e=800^{\circ}\text{C}$. Характеристики зажигания ВУТ на основе угля марок Б и Д практически идентичны при температуре топочного пространства свыше 950°C .

Также, помимо выше описанного исследования, сделано технико-экономическое обоснование данного дипломного проекта в разделе «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», проведен анализ вредных и опасных факторов, которые имеют место быть при выполнении ВКР, и рассмотрены вопросы по охране труда и технике безопасности в разделе «Социальная ответственность».

Результаты моделирования могут быть использованы для конструирования топочных устройств котельных агрегатов, работающих на ВУТ, и при разработке методов повышения эффективности сжигания ВУТ.

Список использованной литературы

- 1 МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 стр.
- 2 Энергетическая стратегия России на период до 2030 года Утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 года. №1715-р.
- 3 Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. утв. Президентом РФ 30.04.2012.
- 4 Климатическая доктрина РФ до 2020 г. утв. распоряжением Президента Российской Федерации, 2009.
- 5 Мудрецов А.Ф., Тулупов А.С. Вопросы развития альтернативной энергетики в России // Вестник Томского государственного университета, 2016, №4 (36), 2016, с. 38-45
- 6 Хрусталева Г.К., Медведева Г.А. Современные направления и способы экологически чистого использования углей в России и за рубежом // Разведка и охрана недр, №11, 2006, с. 33-39 с.
- 7 Еренков О.Ю., Галанина И.А., Уразова Е.А. К вопросу о применении водоугольного топлива // Перспективное развитие науки, техники и технологий: Сб. докл. 3-й Международной научно-практической конференции, Курск, 18 октября 2013. В 3 томах, том 1. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2013, с. 397-400
- 8 О.Н. Калинихин. Оценка влияния внедрения технологии сжигания водоугольного топлива на выбросы тепловых электростанций // ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА №2 (16), 2013, с. 78-81.
- 9 А.С. Кузнецов, И.И. Токарев. К вопросу о внедрении водоугольного топлива (ВУТ) на промышленных и коммунальных теплоэнергетических предприятиях // Современная наука, №1 (3), 2010, с. 32-34.

- 10 А.С. Кузнецов, И.И. Токарев. Научно-практические разработки и направления реализации технологии ВУТ в условиях возрастания доли угольного продукта в балансе промышленной и коммунальной теплоэнергетики // Современная наука, №1 (6), 2011, с. 21-24.
- 11 Мурко В.И., Федяев В.И., Карпенко В.И., Дзюба Д.А. Результаты исследования вредных выбросов при сжигании суспензионного угольного топлива // Журнал Сибирского федерального университета, №5, 2012, с. 512-519
- 12 Долинский А.А., Халатов А.А. Водоугольное топливо: перспективы использования в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном секторе // Промышленная теплотехника, т. 29, №5, 2007, с. 70-79
- 13 Ходаков Г.С. Водоугольные суспензии в энергетике // Теплоэнергетика. – 2007. – № 1. – С. 35–45
- 14 К.В. Осинцев. Разработка системы сжигания водоугольной суспензии // Вестник ЮУрГУ, Серия «Энергетика», ч. 14, №1, 2014, с. 5-14.
- 15 Kijo-Kleczkowska, A. Combustion of coal-water suspensions / A. Kijo-Kleczkowska // Fuel. – 2011. – V. 90. – P. 865–877.
- 16 Анализ характера горения композиционных топлив, полученных кавитационным методом / Н.И. Федорова, Ю.Ф. Патраков, В.Г. Сурков, А.К. Головки // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007. – № 4. – С. 38–41.
- 17 Burdukov, A.P. The rheodynamics and combustion of coal-water mixtures / A.P. Burdukov, V.I. Popov, V.G. Tomilov, V.D. Fedosenko // Fuel. – 2002. – V. 81, № 7. – P. 927–933.
- 18 Atal, A. Observations on the combustion behavior of coal water fuels and coal water fuels impregnated with calcium magnesium acetate / A. Atal, Y. A. Levendis // Combustion and Flame. – 1993. – Vol. 93, No. 1–2. – P. 61–89.
- 19 Atal, A. Combustion of CWF agglomerates from pulverized or micronized bituminous coal, carbon black, and diesel soot / A. Atal, Y. A. Levendis // Combustion and Flame. – 1994. – Vol. 93, No. 4. – P. 326–342.

- 20 Yao, S. Behavior of suspended coal-water slurry droplets in a combustion environment / S. Yao, L. Liu // *Combustion and Flame*. – 1983. – Vol. 51, No. C – P. 335–345.
- 21 Yavuz, R. Combustion characteristics of lignite-water slurries / R. Yavuz, S. Küçükbayrak, A. Williams // *Fuel*. – 1998. – Vol. 77, No. 11. – P. 1229–1235.
- 22 Сыродой С.В., Кузнецов Г.В., Саломатов В.В. Влияние формы частиц на характеристики воспламенения водоугольного топлива // *Химия твердого топлива*. – 2015. – № 6. – С. 28-34.
- 23 Пинчук В.А. Экспериментальные исследования закономерностей воспламенения и горения водоугольного топлива, полученного из углей различной стадии метаморфизма // *Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии*, №1 (14), 2014, с. 159-164.
- 24 Пинчук В.А. Влияние характеристик водоугольного топлива на закономерности его горения // *Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии*, №2 (15), 2014 г., с. 78-84.
- 25 Захаревич А.В., Саломатов В.В., Стрижак П.А., Сыродой С.В. Зажигание капель водоугольного топлива в потоке воздуха // *Химия твердого топлива*, №3, 2016, с. 25-29.
- 26 Вершинина К.Ю., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Характеристики зажигания мазута водоугольных топлив для котельных установок // *Химия твердого топлива*, №2, 2017, с. 30-35.
- 27 Kijo-Kleczkowska A. Combustion of coal-water suspensions // *Fuel*. - 2011. - V.90. - p.865-877.; Gajewski W., Kijo-Kleczkowska A., Leszczyn J. Analysis of cyclic combustion of solid fuels // *Fuel*. -2009. -V.88. -p. 221-234.
- 28 Salomatov V. V., Syrodoy S. V., Gutareva N.Y. Modeling of heat and mass transfer to solve the problem of particle ignition water-coal fuel // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. - 2014. - V.66. - № 012040. p. 7.

- 29 Salomatov VV, Kravchenko I.V. The combustion theory of a droplet of water-coal fuel // Combustion of solid fuel: a collection of reports of the VII All-Russian Conf. with intern. participation, Novosibirsk, 10-13 November. 2009. In 3 hours P.3. - Novosibirsk: Institute of Thermophysics SB RAS, 2009. p. 213-227.
- 30 Kuznetsov G.V., Salomatov V.V., Syrodoy S.V. Numerical modeling of ignition of coal-water fuel particles//Combustion, Explosion and Shock Waves. – 2015. -V. 51. -p.1-8.
- 31 Salomatov VV, Syrodoy SV, Kuznetsov G.V. Heat and mass transfer in a coal-water fuel particle at the stage of “thermal” treatment//Thermophysics and aeromechanics. - 2016. - T.23. - № 4 (100). - P.627-636.
- 32 Syrodoy SV, Kuznetsov GV, Salomatov VV Effect of the shape of particles on the characteristics of the ignition of coal–water fuel// Solid Fuel Chemistry. - 2015.-T.49 - No. 6. c. 365-371
- 33 Salomatov V.V., Syrodoy S.V. Gutareva N.Yu. Concentration organic components in the hydrocarbon fuel particles conditions and characteristic of ignition // EPJ Web of Conferences. - 2014. - V.76 - No. 01018.
- 34 Syrodoy S.V., Kuznetsov G.V., Zhakharevicha A.V. Gutareva N.Yu., Salomatov V.V. The influence of the structure heterogeneity on the characteristics and conditions of the coal-water fuel particles in the high temperature environment // Combust. and Flame. - 2017. - V.80. - p.196-206.
- 35 Frank-Kamenetsky DA Diffusion and heat transfer in chemical kinetics. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1947.
- 36 K.Y. Ahn, S.W. Bbaek, C.E. Choi. Investigation of a Coal-Water Slurry Droplet Exposed to Hot Gas Stream//Combustion Science and Technology – 1994-97:4-6. P. 429-447
- 37 Сенчурова Ю. А., Мурко В. И., Федяев В. И. Результаты исследований распыления водоугольного топлива пневмомеханическими форсунками //

Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 312, № 4. С. 37–40.

38 Syrodoy Semen, Gutareva Nadezhda, Taburchinov Roman. Influence of absorption of thermal radiation in the surface water film on the characteristics and ignition conditions.// MATEC Web of Conferences 72, 01109, (2016).

39 Флек Е.С. Разработка физической модели горения капли водоугольного топлива // Омский научный вестник, №6 (156), 2017, с. 102-105.

40 Зигель Р., Теплообмен излучением [Текст]: Пер. с англ. / Р. Зигель, Дж. Хауэлл; Под ред. д-ра техн. наук Б. А. Хрусталева. – Москва: Мир, 1975. – 934 с.: черт.; 22 см.

41 Марков И.И., Хащенко А.А., Вечер О.В. О скорости испарения жидкости с ее свободной поверхности и с поверхности нагрева // Сб. научн. тр. – Северо-Кавказское отделение технологических наук РФ. – 2002. – Вып. 6.

42 Кузнецов, Г. В. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие / Г. В. Кузнецов, М. А. Шеремет; Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2007. — 173 с.: ил.. — Библиогр.: с. 171-172.

43 Сметанников, Б.Н. Исследование воспламенения и горения капли водоугольной суспензии / Б.Н. Сметанников, Г.Н. Делягин // Горение твердого топлива. – Наука. – 1969. – 556 с. Сметанников, Б.Н. Исследование воспламенения и горения капли водоугольной суспензии / Б.Н. Сметанников, Г.Н. Делягин // Горение твердого топлива. – Наука. – 1969. – 556 с.

44 Сенчурова Ю.А., Заречнева Е.В. Математическое моделирование процесса распыления и сжигания водоугольного топлива в вихревой топке // Вестник Кузбасского государственного технического университета, №6(94), 2012, с. 122-127

45 Основы практической теории горения: Учебное пособие для вузов / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов и др.; Под ред. В.В. Померанцева.

2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 312 с.: ил.

46 Агроскин А.А, Глейбман В.Б. Теплофизика твердого топлива. М., Недра, 1980, 256 с.